



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

Caracterização Simplista das Potencialidades Energéticas da Costa Ocidental Portuguesa

Daniela Panta

Tese Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica,

Opção de Energias Térmicas

Orientação do Professor Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho

2007/2008

*“Ó mar salgado, quanto do teu sal
São lágrimas de Portugal!
Por te cruzarmos, quantas mães choraram,
Quantos filhos em vão rezaram!
Quantas noivas ficaram por casar
Para que fosses nosso, ó mar!

Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu. “*

Mar Português, Fernando Pessoa (1888-1935)

Agradecimentos

A autora pretende agradecer ao seu orientador, Professor Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho, pela sua incondicional ajuda; disponibilidade; indicação de material bibliográfico e tema interessante que propôs, em suma, bem-haja por tudo.

Resumo

O actual trabalho desenvolveu-se no âmbito da disciplina Projecto, do 5º ano da opção Energia Térmica pertencente ao Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Tem como objectivo o estudo simplificado da viabilidade do mar, na costa ocidental portuguesa, como fonte de energia, bem como uma caracterização simplista de Zona Económica Exclusiva (ZEE) portuguesa.

A abordagem a este tema é relativamente importante, uma vez que com o actual crescimento da população mundial juntamente com o consequente aumento do consumo de energia, existe uma urgente necessidade de encontrar uma rápida e ampla solução que venha a substituir as fontes de energia fóssil e que consiga sustentar a sociedade futura.

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos. O Capítulo 1, pretende enquadrar o leitor na problemática, já mencionada, relativa à escassez dos recursos energéticos, realizando-se também uma caracterização simplista da zona económica exclusiva (ZEE) portuguesa. O Capítulo 2 tem como objectivo elucidar o leitor sobre algumas fontes renováveis de energia, complementares às já utilizadas em Portugal, cuja origem é fundamentalmente o mar. O Capítulo 3 demonstra as dificuldades inerentes ao transporte de energia resultante da transformação de energia de carácter transitório/aleatório proveniente de fontes renováveis de energia a qual é normalmente pouco coincidente com a curva da procura das necessidades energéticas. O Capítulo 4 visa a quantificação de energia eléctrica que poderá provir do aproveitamento das várias formas de energia viáveis em Portugal, obtidas por intermédio do mar pertencente à ZEE portuguesa e mais concretamente na costa ocidental do continente. Por último o Capítulo 5 consiste num conjunto de ilações e conclusões alusivas ao que foi desenvolvido ao longo do presente trabalho.

Através de uma intensa pesquisa bibliográfica e utilizando alguns cálculos simples tentou-se apurar a quantidade de energia disponível em Portugal utilizando várias formas de energia que se podem obter através da

exploração da ZEE portuguesa, que neste momento comporta 1.714.800 km² de área.

A solução para Portugal poderá passar pelo aproveitamento do potencial das águas marítimas através do aproveitamento da energia das ondas, do vento, do gradiente salino e mesmo das correntes marinhas. A energia aproveitável das ondas implicaria a exploração de 500 km (costa ocidental), onde se regista uma média de 30 a 40 kW por metro de onda. Relativamente ao aproveitamento da energia eólica *offshore*, implicaria a construção de alguns parques eólicos *offshore* em zonas cujo estudo aponta para ventos de 7 a 8 m/s a uma altura de 50 m e de 7,5 a 8,5 m/s a 100 m. Quanto à exploração do gradiente salino é algo a levar em consideração devido ao facto de Portugal possuir 13 estuários e estudos indicarem a produção de 1 MW por cada m³ de água doce que atravessasse uma membrana semi-permeável. Dos cálculos efectuados chegou-se a valores na ordem dos 3 TWh/ano para a energia eólica, entre 13 a 26 TWh/ano de energia das ondas e de 1,5 TWh/ano da energia osmótica.

Finalmente é de salientar que embora o objectivo inicial do trabalho se relacionasse com a caracterização da ZEE portuguesa, na prática a análise efectuada concentrou-se exclusivamente na costa ocidental do país

Abstract

The main objective of this work was the study of the viability of the sea as a renewable energy source, in the Portuguese occidental cost, as well as a basic characterization of the Portuguese Exclusive Economic Zone (EEZ).

Writing about this subject is challenging, because of the actual growing in the world population combined with the huge energy consumption the mankind is being used. This creates a urgent necessity to find out fast solutions to replace the fossil fuels and create a future sustained society.

This work is divided in 5 chapters. Chapter 1, intends to put the reader aware of the main problems linked to the disappearance of fossil energy resources and does a basic characterization of the Portuguese EEZ. Chapter 2, has the objective to elucidate the reader about some renewable sources that can help to complement the ones already in use in Portugal but based on the Portuguese EEZ. Chapter 3, shows the huge complexity of energy transmission from renewable energy sources, whose condition is transitory and does not match the constant energy demand of the consumers. Chapter 4, aims to quantify the electrical energy that can be provided, from the Portuguese occidental cost, by the several types of renewable energy sources suitable to explore in Portugal. At last, Chapter 5, presents the conclusions taken from the obtained results.

Portugal should concentrate in the exploration of the sea potential through the power of the waves, the sea wind, the osmotic gradient and perhaps even the exploration of the currents. To seize the wave energy power Portugal could explore 500 km (occidental cost), where some authors say that there is an average of 30 to 40 kW per wave meter. The offshore wind power exploration would involve the construction of offshore wind power plants, where studies indicate winds of 7 to 8 m/s at 50 m height and 7,5 to 8,5 m/s at 100 m. The exploration of the osmotic power is a type of renewable energy that Portugal should explore because it encloses 13 estuaries and there is a theoretical study that shows that each m³ of freshwater that penetrates the semi-permeable membrane produces 1 MW of energy.

Basic results show that an amount of 3 TWh/year could be obtained from wind power, 13 to 26 TWh/year from wave power and 1,5 TWh/year from osmotic power

Though the original purpose of this project was to do a EEZ characterization, the project focused exclusively on the Portuguese occidental cost.

Índice

LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE MAPAS	xvii
NOMENCLATURA.....	xix
1. INTRODUÇÃO: CONTEXTO	1
1.1. Enquadramento do estudo.....	3
1.2. Escassez de recursos energéticos.....	5
1.3. Problemas das fontes renováveis de energia.....	7
1.4. Zona Económica Exclusiva (ZEE).....	9
1.4.1. ZEE portuguesa	10
1.4.2. Alargamento da ZEE portuguesa	11
2. FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA	13
2.1. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia do vento marítimo	15
2.1.1. Descrição dos sistemas de extracção da energia eólica <i>offshore</i>	24
2.1.1.1. <i>Tipos de fundações de turbinas eólicas offshore</i>	26
2.1.2. Aproveitamento eólico <i>offshore</i> em Portugal	27
2.2. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das ondas.....	30
2.2.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia das ondas	33
2.2.1.1. <i>Centrais de Coluna de Água Oscilante (CAO)</i>	34
2.2.1.2. <i>Wave Dragon</i>	37
2.2.1.3. <i>Pelamis</i>	39
2.2.1.4. <i>Archimedes Wave Swing (AWS)</i>	41
2.2.1.5. <i>AquaBuOY</i>	44
2.2.1.6. <i>OPT 'Power Buoy'</i>	45
2.2.2. Comparação com outras tecnologias energéticas	46
2.2.3. Aproveitamento da energia das ondas em Portugal	47
2.3. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das correntes	51
2.3.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia das correntes.....	52

2.3.2. Aproveitamento da energia das correntes em Portugal.....	52
2.4. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das marés	54
2.4.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia das marés	57
2.4.2. Aproveitamento da energia das marés em Portugal.....	58
2.5. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia do diferencial térmico oceânico (<i>Ocean Thermal Energy Conversion</i> ou OTEC)	59
2.5.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia por diferencial térmico oceânico.....	59
2.5.1.1. Sistema OTEC em ciclo fechado.....	59
2.5.1.2. Sistema OTEC em ciclo aberto	60
2.5.1.3. Sistema OTEC híbrido.....	62
2.5.2. Aproveitamento da energia do diferencial térmico oceânico em Portugal..	62
2.6. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia do gradiente salino (potencial osmótico).....	63
2.6.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia por gradiente salino.....	64
2.6.2. Aproveitamento da energia do gradiente salino em Portugal.....	68
3. ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE ENERGIA	71
3.1. Armazenamento e fontes renováveis de energia	73
3.1.1. Transmissão de electricidade.....	73
3.2. Sistemas de armazenamento de energia.....	75
3.2.1. Armazenamento por rebombagem - Bombagem reversível	75
3.2.2. Armazenamento de ar comprimido.....	77
3.2.3. Baterias de Vanádio.....	79
3.2.4. Células combustíveis – armazenamento de Hidrogénio	79
3.2.5. Volantes de inércia.....	81
3.2.6. Outras opções de armazenamento	81
3.3. Rede eléctrica nacional de transporte justo à costa portuguesa.....	83
4. CÁLCULO DOS APROVEITAMENTOS VIÁVEIS EM PORTUGAL	85
4.1. Cálculo de energia por aproveitamento de energia eólica <i>offshore</i> em Portugal	87
4.2. Cálculo de energia por aproveitamento de ondas em Portugal	90
4.3. Cálculo de energia por aproveitamento do potencial do gradiente salino (potencial osmótico) em Portugal.....	93
5. ILAÇÕES E CONCLUSÕES	95

5.1. Conclusão.....	97
5.2. Esquecer as fontes de energia renováveis?	99
BIBLIOGRAFIA	101
OUTRAS REFERÊNCIAS.....	105
ANEXOS	109
ANEXO 1 Unidades e factores de conversão.....	111
ANEXO 2 Outras Considerações	115
ANEXO 3 Actualmente em Portugal.....	121
ANEXO 4 Estimativa global das energias cuja fonte energética é o mar	127
ANEXO 5 Mapa de condicionantes na costa Atlântica Portuguesa à construção de parques de energia das ondas	131
ANEXO 6 Impactos ambientais da construção de parques de energia das ondas.....	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRODUÇÃO EÓLICA <i>OFFSHORE</i> EM VÁRIOS PAÍSES EUROPEUS, (ARMSTRONG ET AL., 2007).	17
TABELA 2 – ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO EÓLICA <i>OFFSHORE</i> , (SIMÕES ET AL., 2007).	29
TABELA 3 – VALORES DE CAUDAL, MÉDIOS ANUAIS, EM M ³ /S DE ALGUNS ESTUÁRIOS DE PORTUGAL.....	69
TABELA 4 – VALORES CALCULADOS, ATRAVÉS O PROGRAMA EXCEL, DA PRODUÇÃO ANUAL DE CADA AEROGERADOR EM ANÁLISE, EM MWH/ANO.	87
TABELA 5 – VALORES ENERGÉTICOS ANUAIS RESULTANTES DO APROVEITAMENTO EÓLICO <i>OFFSHORE</i>	88
TABELA 6 – PRODUÇÃO EÓLICA <i>OFFSHORE</i> A ALCANÇAR ATÉ 2020 EM PORTUGAL, (GREENPEACE, 2004).....	89
TABELA 7 – POTÊNCIA PRODUZIDA PELO APROVEITAMENTO DA ENERGIA DO GRADIENTE SALINO / POTENCIAL OSMÓTICO EM CADA UM DOS TRÊS ESTUÁRIOS COM MAIOR VOLUME DE CAUDAL EM PORTUGAL.	93
TABELA 8 – TABELA COMPARATIVA DE RESULTADOS, AO NÍVEL DA APLICAÇÃO DAS VÁRIAS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA MENCIONADAS, APLICÁVEIS EM PORTUGAL.	98
TABELA 9 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS RELATIVOS À QUANTIDADE DE HIDROGÉNIO PRODUZIDA.	118
TABELA 10 – FONTES, TECNOLOGIAS, PRODUÇÃO E ESTIMATIVA DE CUSTOS AO NÍVEL DE ALGUMAS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA CUJA ORIGEM É O MAR, (SWECO GRØNER, 2007).....	129
TABELA 11 – IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDOS À CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DE PARQUES DE ENERGIA DAS ONDAS, (FALCÃO ET AL., 2004).	137
TABELA 12 – IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDOS À OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PARQUES DE ENERGIA DAS ONDAS, (FALCÃO ET AL., 2004).	137
TABELA 13 – IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDOS À CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO (CONTINUAÇÃO DA TABELA 12) DE PARQUES DE ENERGIA DAS ONDAS, (FALCÃO ET AL., 2004).	138
TABELA 14 - IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDOS AO DESMANTELAMENTO DE PARQUES DE ENERGIA DAS ONDAS, (FALCÃO ET AL., 2004).....	138

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLO DE VIDA DAS FONTES DE ENERGIA, (SHELL AG, ALEMANHA, 1998).....	3
FIGURA 2 – SEPARAÇÃO DO MAR POR ZONAS, (GEO CONFLUENCES, 2006).....	9
FIGURA 3 – CRESCIMENTO DE POTÊNCIA TOTAL INSTALADA DE 1980 A 2005 E DECRÉSCIMO DO CUSTO DAS TURBINAS EÓLICAS, (ARMSTRONG ET AL., 2007).....	17
FIGURA 4 – AEROGERADORES DE 2MW LOCALIZADOS NUM PARQUE EÓLICO <i>OFFSHORE</i> DE 40MW SITUADO PERTO DA CIDADE DE COPENHAGA, DINAMARCA, (RETSCREEN, 2008).....	20
FIGURA 5 – CRESCIMENTO DE POTÊNCIA INSTALADA PREVISTA ATÉ 2020, (GREENPEACE, 2004).....	21
FIGURA 6 – EVOLUÇÃO DAS TURBINAS EÓLICAS DE 1980 A 2005, (SWECO GRØNER, 2007).....	24
FIGURA 7 – PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA TURBINA EÓLICA, (GREENPEACE, 2004).....	25
FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DAS TURBINAS EÓLICAS EM ÁGUAS PROFUNDAS, (DWIA, 2003).....	25
FIGURA 10 – ESQUEMA DOS TIPOS DE FUNDAÇÕES AS TURBINAS EÓLICAS <i>OFFSHORE</i> , EM ÁGUAS PROFUNDAS, (DWIA, 2003).	26
FIGURA 9 – ESQUEMA DOS TIPOS DE FUNDAÇÕES AS TURBINAS EÓLICAS <i>OFFSHORE</i> , PERTO DA COSTA, (DWIA, 2003).....	26
FIGURA 11 - LOCAIS MAIS PROPÍCIOS AO APROVEITAMENTO DE VENTOS MARÍTIMOS NA COSTA PORTUGUESA, (SIMÕES ET AL., 2007).....	28
FIGURA 12 – APROVEITAMENTO DE ONDAS POR COLUNA DE ÁGUA, (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2008).....	35
FIGURA 13 - CENTRAL DE ENERGIA DAS ONDAS DA ILHA DO PICO, (CENTRO DE ENERGIA DAS ONDAS, 2008).....	36
FIGURA 14 – FUNCIONAMENTO DO TIPO WAVE DRAGON PARA APROVEITAMENTO DE ONDAS, (WAVE DRAGON, 2005)....	37
FIGURA 15 – WAVE DRAGON – CENTRAL PILOTO NO LOCAL DE TESTE EM NISSUM BREDNING, DINAMARCA, (WAVE DRAGON, 2005).....	39
FIGURA 16 – PROTÓTIPO DO PELAMIS WEC (<i>WAVE ENERGY CONVERTER</i>) CONVERSOR DE ENERGIA DAS ONDAS INSTALADO NA COSTA ESCOCESA EM ORKNEY, (SYMSCAPE, 2007).....	40
FIGURA 18 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA AWS (ESQ.) E ANTEVISÃO DO DISPOSITIVO DA PRÓXIMA GERAÇÃO, (AWS, 2004).....	41
FIGURA 17 – PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO DE UM PELAMIS WEC, (SWECO GRØNER, 2006).....	41
FIGURA 19 – CENTRAL PILOTO AWS REBOCADA DO PORTO DE VIANA DO CASTELO (ESQ.) E POSIÇÃO ESQUEMÁTICA (DIR), (AWS, 2004).....	43
FIGURA 20 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO AQUABUOY, (AQUAENERGY, 2006).....	45
FIGURA 21.....	50
FIGURA 22 – APROVEITAMENTO DA ENERGIA DE CORRENTES, (MEDEIROS, 2007).....	52
FIGURA 23. - ESTAÇÃO DE ENERGIA DE MARÉS NO RIO RANCE, PERTO DE SAINT-MALO, FRANÇA, (CARVALHO ET AL., 2000).	54
FIGURA 24 – ESQUEMA DA BARRAGEM DE RANGE, VISTA DE CIMA, (BOYLE, 2000).....	55
FIGURA 25 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE ENERGIA DE MARÉS, (RYAN, 2005).....	57
FIGURA 26. – ESQUEMAS DO SISTEMA OTEC EM CICLO FECHADO, UTILIZANDO AMÓNIA (NH ₃) COMO FLUIDO DE TRABALHO, (UVI, 2005 E TAHARA ET AL., 1995).....	60
FIGURA 27 – ESQUEMA DO SISTEMA OTEC EM CICLO ABERTO, (UVI, 2005).....	61
FIGURA 28 – SISTEMA OTEC HÍBRIDO, (UN-OCEANS, 2004).....	62
FIGURA 29 – TRABALHO ESTIMADO DA MISTURA DE 1 m ³ DE ÁGUA PURA COM A VARIAÇÃO DE MOLALIDADE E VOLUME DE NaCl A T=298,15 K, (SEPPÄLÄ, 2007).....	63
FIGURA 30 – PRINCÍPIO DO PODER DA PRESSÃO OSMÓTICA, (SKILHAGEN ET AL., 2007).....	64
FIGURA 31 – ESQUEMA DO PROCESSO DE APROVEITAMENTO DO POTENCIAL OSMÓTICO, (SWECO GRØNER, 2006).....	65

FIGURA 32 – ILUSTRAÇÕES DE POSSÍVEIS ESTAÇÕES DE APROVEITAMENTO DO GRADIENTE SALINO (1 E 3 – ESTAÇÃO AO NÍVEL DO MAR, 2 – ESTAÇÃO SUB-MARÍTIMA), (STATKRAFT, 2006).	67
FIGURA 33 – MAPA DE PORTUGAL E OS SEUS PRINCIPAIS RIOS, (GUIA GEOGRÁFICO).....	68
FIGURA 34 – ARMAZENAMENTO POR REBOMBAGEM, UTILIZANDO ENERGIA PRODUZIDA POR TURBINAS EÓLICAS, (IBRAHIM ET AL., 2008).	76
FIGURA 35 – VOLUME DE ÁGUA NECESSÁRIO A UMA DADA ALTURA PARA ARMAZENAR 6 MWH, (IBRAHIM ET AL., 2008)...	76
FIGURA 36 – ESQUEMA DA ARMAZENAMENTO DE AR COMPRIMIDO, (IBRAHIM ET AL., 2008).....	78
FIGURA 37 – OS DIFERENTES TIPOS DE RESERVATÓRIOS DE ARMAZENAMENTO DE AR COMPRIMIDO, (IBRAHIM ET AL., 2008).	78
FIGURA 38 – DIAGRAMA DA CÉLULA DE COMBUSTÍVEL, (ALMEIDA ET AL., 2006).	80
FIGURA 39 – PISCINA SOLAR, (WWW.POWERFROMTHESUN.NET).	82
FIGURA 40 – ESQUEMA DE UMA ESTAÇÃO DE ARMAZENAMENTO TÉRMICO SITUADA EM FRANÇA, (IBRAHIM ET AL., 2008).	82
FIGURA 41 – CAPA DO DIÁRIO ECONÓMICO DE 17 DE MARÇO DE 2008.	123
FIGURA 42 – PRINCIPAIS FINANCIADORES DO ESTUDO SOBRE A POTENCIALIDADE ECONÓMICA DO MAR, (ANDRADE, 2008).	124
FIGURA 43 – OS DIVERSOS TIPOS DE APROVEITAMENTO DO VENTO, (ANDRADE, 2008).	125

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 – ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA PORTUGUESA, (SOUTO, 2007).	10
MAPA 2 – LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS, (EMEPC).....	11
MAPA 3 – PARQUES EÓLICOS <i>OFFSHORE</i> EXISTENTES OU EM CONSTRUÇÃO (1– NORTH HOYLE, 2– SCROBY SANDS, 3– HORNS VER, 4– NYSTED, 5– MIDDELGRUNDEN), (GREENPEACE, 2004).	18
MAPA 4 – VALORES DE VENTOS MARÍTIMOS A DIFERENTES ALTURAS A MAIS DE 10 KM DA COSTA, (EUROPEAN <i>OFFSHORE</i> WIND ATLAS).	19
MAPA 5 – CENÁRIO PREVISTO PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 RELATIVO AOS PARQUES EÓLICOS <i>OFFSHORE</i> A SEREM CONSTRUÍDOS NA PENÍNSULA IBÉRICA, (GREENPEACE, 2004).	23
MAPA 6 – ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO EÓLICO <i>OFFSHORE</i> , (SIMÕES ET AL., 2007).	27
MAPA 7 – VALORES DE FLUXO MÉDIO DA ENERGIA DAS ONDAS EM kW/M OU MW/KM, (FALCÃO ET AL., 2004).	31
MAPA 8 - LOCAIS PROPÍCIOS AO APROVEITAMENTO DE ONDAS E MARÉS, (SWECO GRØNER, 2006).	47
MAPA 9 – POTÊNCIA ANUAL DAS ONDAS (kW/M) DA COSTA PORTUGUESA. OS VALORES DOS 78 PONTOS COSTEIROS FORAM DETERMINADOS PARA 20M OU MENOS DE PROFUNDIDADE DE MAR, OS PONTOS <i>OFFSHORE</i> A 100M E OS 2 EM ALTO MAR A 600M, (PONTES ET AL, 2005).	48
MAPA 10 – MAPA DA POTÊNCIA MÉDIA DAS ONDAS, (FALCÃO, 2005).	49
MAPA 11 – MAPA GENERALISTA DAS CORRENTES OCEÂNICAS, (NASA, 2004).	51
MAPA 12– MAPA DAS CORRENTES OCEÂNICAS, (NUNES, 2008).	53
MAPA 13 – LOCALIZAÇÃO DE POSSÍVEIS LOCAIS PROPÍCIOS PARA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS DE MARÉS, (BOYLE, 2000). ..	56
MAPA 14 - VALORES DE ENERGIA DAS ONDAS EM PORTUGAL CONTINENTAL EM kW POR METRO DE ONDA, (FALCÃO ET AL., 2004).	90
MAPA 15 – ZONAS POTENCIALMENTE UTILIZÁVEIS E POSSÍVEIS ÁREAS DE CONCESSÃO PARA PARQUES DE ENERGIA DAS ONDAS NA COSTA OCIDENTAL PORTUGUESA, (FALCÃO ET AL., 2004).	133

NOMENCLATURA

AFC – Célula de Combustível Alcalina
AWS – Archimedes Wave Swing
BDH – Federal Industrial Association Germany House, Energy and Environmental Technology
CA – Corrente Alternada
CAO – Coluna de Água Oscilante
CC – Corrente Contínua
DE – Diário Económico
DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia
DWIA – Danish Wind Industry Association
EDA – Electricidade dos Açores
EDP - Electricidade de Portugal
EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy
EEZ – Exclusive Economic Zone
EFACEC – Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas
EMEPC – Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental
EPS – European Physical Society
EPS – European Physical Society
EU – União Europeia
EVE – Ente Vasco de Energia
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
I&D – Investimento e Desenvolvimento
IGEO – Instituto Geográfico Português
INAG – Instituto da Água
INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IPS – Interproject Service
IPTM – Instituto Portuário e dos Transportes
IST – Instituto Superior Técnico
NCEP – National Centers for Environmental Prediction
NEPS – Número de horas à potência nominal
OPD – Observatório do Pico dos Dias
OPT – Ocean Power Technology

OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion
PAFC – Célula de Combustível de Ácido Fosfórico
PIB – Produto Interno Bruto
PRE – Produção em Regime Especial
PROET – Projectos de Engenharia e Tecnologia, S.A.
REN – Rede Eléctrica Nacional
SAER – Sociedade de Avaliação de Empresas e Risco
SINTEF – Empresa de investigação sediada na Noruega
SOFC – Célula de Combustível de Óxido Sólido
STCP – Sociedade de Transportes Colectivos do Porto
TEN – Trans-European Energy Networks
UNCLOS – United Nations Convention on the Law Of the Sea
US – Estados Unidos da América
WEC – Wave Energy Center
ZEE – Zona Económica Exclusiva

1. INTRODUÇÃO: CONTEXTO

No Capítulo 1 pretende-se, para além de definir o objectivo do trabalho, enquadrar o leitor com a problemática das limitações dos recursos energéticos, devido ao excesso de utilização de energia fóssil por parte da humanidade. Fará também parte deste capítulo a caracterização simplista da Zona Económica Exclusiva (ZEE) Portuguesa.

1.1. Enquadramento do estudo

Com a escassez de recursos energéticos a médio prazo, suportados até à actualidade por fontes de origem fóssil, há necessidade de aproveitar e investir noutras formas de energia, assim sendo, há que reflectir nas vantagens da utilização do potencial que o mar tem para oferecer à humanidade.

O sol é a maior fonte energética e a mais segura que existe, por certo que daqui a mil milhões de anos ainda estará disponível; a energia solar é uma energia não poluente, gratuita e é através dela que se obtêm as restantes fontes renováveis de energia tais como as energias eólica, hidroelétrica, ondas, marés, ... Em última instância o carvão, o petróleo e o gás natural também provêm, ainda que de forma indirecta, da energia solar, pois resultaram da decomposição (decaimento) e na retenção no subsolo, a condições de pressão e temperatura elevadas, de resíduos orgânicos que tiveram origem na vida existente no planeta há milhões de anos, a qual foi certamente sustentada pelas condições propiciadas pela energia solar.

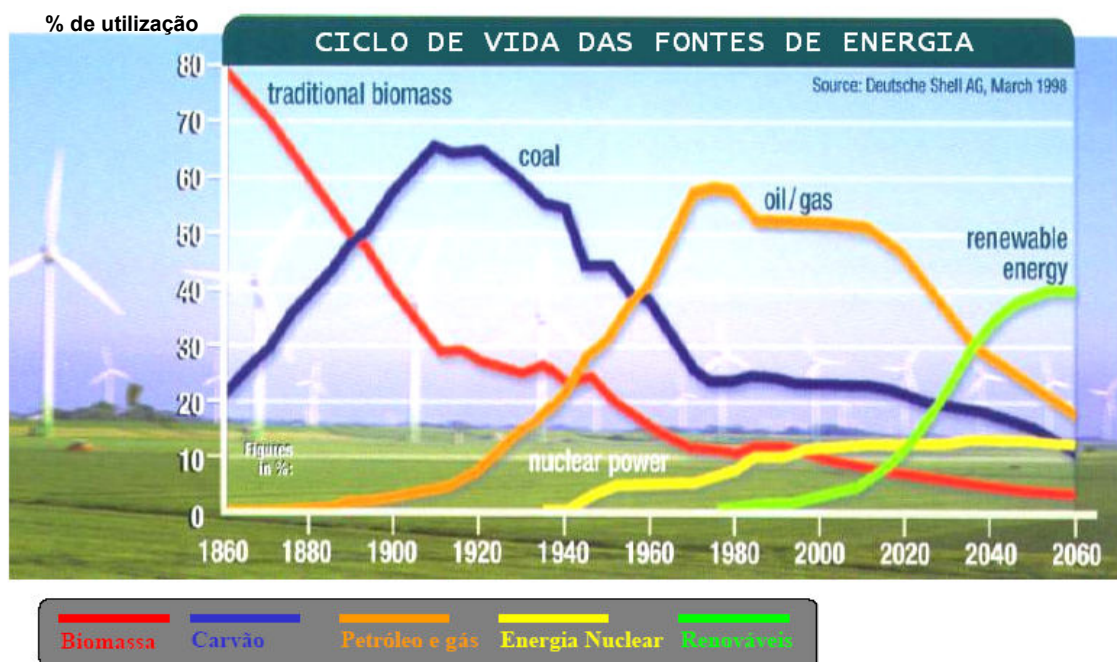


Figura 1 – Ciclo de vida das fontes de energia, (Shell AG, Alemanha, 1998).

O presente estudo pretende, de uma forma simplista e sucinta, alertar para os diferentes tipos de fontes renováveis de energia que se conseguem obter através do aproveitamento do mar. Irão ser abordadas as seguintes formas: energia do vento marítimo, das ondas, das correntes, das marés, do diferencial térmico oceânico e finalmente do gradiente salino (pressão osmótica). Nem todas estas formas têm interesse exploratório em Portugal, mas os seguintes capítulos irão demonstrá-lo.

1.2. Escassez de recursos energéticos

Haverá, ou não, energia suficiente disponível capaz de sustentar o consumo de energia industrial a médio e longo prazo? Esta é uma problemática que muitos tentam estudar. Na verdade há diversas opiniões relativas a este assunto. Recentemente Campbell (1997) e outros discutiram sobre o petróleo, fonte de energia de que depende essencialmente a indústria, podendo esta acabar mais cedo que previsto. Segundo este autor, o pico de provisão do petróleo ocorrerá entre 2005 e 2015. Para outros, o pico já terá ocorrido embora haja quem acredite que o mesmo estará para vir, mas que tal não acontecerá na década actual. No entanto algumas dessas entidades consideram que as chamadas “energias alternativas” não convencionais, tais como as areias betuminosas, que depois de refinadas se transformam em óleo e xistos betuminosos, que posteriormente derretidos se transformam em petróleo, não irão alterar significativamente esta situação.

Actualmente há um exagerado consumo de energia per capita. Estudos indicam que no futuro terá que haver cinco vezes maior quantidade de energia comparativamente à energia gasta actualmente. A população mundial chegará a 9,4 milhares de milhões de pessoas por volta de 2070. Se todos consumirem a energia fóssil da mesma forma que a consomem hoje em dia, quaisquer fontes de energia convencional recuperáveis, tais como o petróleo, gás natural, xistos ou areias betuminosas, urânio (através de reactores convencionais – uma só passagem), e carvão (assumindo que se podem recuperar 2000 milhares de milhões de toneladas), serão extintas nos próximos 20 anos, tese defendida por Trainer (2007). Contudo a questão da nuclear ainda está em aberto e possivelmente as estimativas de Trainer (2007) podem estar erradas pois a *European Physical Society* (EPS) lançou um artigo em Novembro de 2007 (Freiesleben et al., 2007) onde menciona que utilizando reactores reprodutores (de ciclo fechado), para além do rendimento ser muito superior comparativamente aos convencionais de um ciclo, também a durabilidade do combustível nuclear actualmente disponível aumentará de algumas centenas de anos para aproximadamente 5 mil anos.

Até que ponto serão as ditas fontes renováveis de energia solução eficiente para sustentar o consumo de energia da sociedade futura? Não só ao nível do consumo individual, como também industrial, após a extinção dos recursos energéticos fósseis? Trainer (2007) crê que essas não serão suficientes e teme que nos próximos 20 anos o mundo volte a ser como há 100 anos atrás, onde se ia buscar a água à fonte, onde existia um veículo por vila, onde a iluminação era feita através de velas. Está a sociedade actual a contribuir para tal finalidade? Esta e outras perguntas só encontrarão respostas certas no futuro. Por enquanto cabe à actual sociedade consumista fazer algo que possa alterar e reverter esta visão dramática do futuro. Ainda que as fontes renováveis de energia possam não ser suficientes para ultrapassar tal situação, podem ajudar com certeza a adiar e a minimizar os danos já causados, permitindo à humanidade mais algum tempo para architectar melhores soluções.

1.3. Problemas das fontes renováveis de energia

De um modo geral o principal problema relativo às fontes renováveis de energia é a disponibilidade de energia transitória/aleatória que tem de ser convertida numa disponibilidade que coincida com a curva de procura das necessidades energéticas da população. O cerne da questão está relacionado com a quantidade que se consegue obter e armazenar, e não com o custo ou com o retorno dessa mesma energia. No que respeita os combustíveis líquidos, parece certo que não se irá obter a quantidade que se considera garantida, independentemente das supostas descobertas em torno de tecnologias avançadas. Para Trainer (2007) só existem duas possíveis fontes de combustíveis líquidos renováveis, sendo eles a Biomassa e o Hidrogénio produzido por electrólise via utilização de energia solar e/ou eólica.

Mesmo numa perspectiva muito optimista sobre o potencial do território continental do planeta e sobre os rendimentos energéticos, estes não são suficientes para combater as necessidades de uma população futura de 9,4 milhares de milhões de pessoas. Na melhor das hipóteses talvez se consiga obter 10% per capita do consumo em combustíveis fósseis que hoje em dia se consome em média nos países ricos. Infelizmente a electricidade é muito difícil de armazenar em grandes quantidades, de forma que é necessário transformá-la em algo que possa ser armazenado, tal como em hidrogénio, vapor de água pressurizado, ar comprimido e energia potencial da água, transformando-se novamente em electricidade quando necessária. No entanto estes processos envolvem significantes dificuldades e custos. A melhor opção, é a utilização de electricidade, bombeando água para dentro de grandes reservatórios, para ser posteriormente utilizada para gerar electricidade quando não houver vento suficiente. Em contrapartida este processo acarreta o problema da limitação da capacidade das albufeiras necessárias para criar tais reservas.

Menos de 10% da energia eléctrica mundial é gerada através de energia hidroeléctrica, isto significa que esta fonte não consegue alcançar de forma alguma a carga máxima em dias de pouco sol ou pouco vento. Por outras

palavras a maior dificuldade relativamente à energia solar e eólica é dada pela sua variabilidade, nomeadamente a frequência do tempo nocturno e do inverno para o caso da energia solar e o facto de o vento ter períodos razoáveis de tempo em que é fraco ou inexistente, (Boyle, 2000).

Presentemente parece que a variabilidade do vento significa que provavelmente não consegue obter mais de 25% da energia disponível nas melhores zonas de vento e até mesmo, não mais de 10 a 15% na maioria das regiões com bom vento, (Trainer, 2007).

1.4. Zona Económica Exclusiva (ZEE)

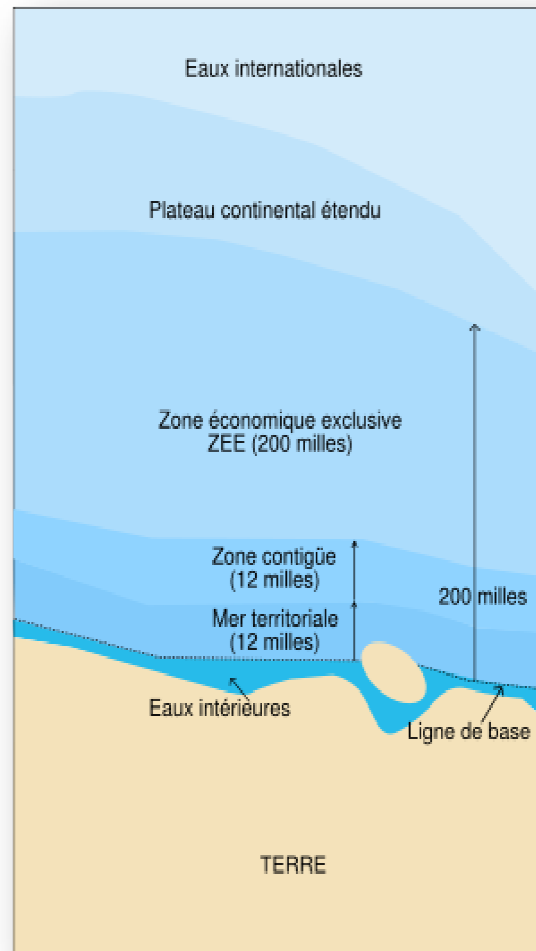


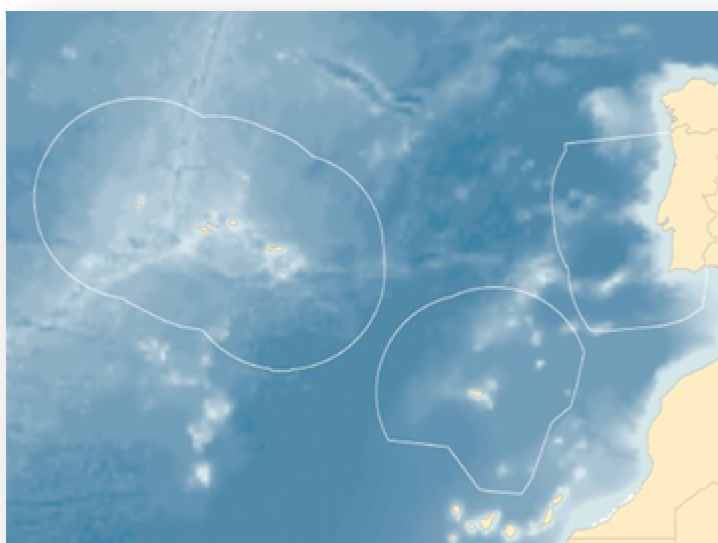
Figura 2 – Separação do mar por zonas, (Geo confluences, 2006).

A Zona Económica Exclusiva (ZEE) é delimitada por uma linha imaginária situada a 200 milhas marítimas da costa (370 km), separando assim as águas nacionais das águas internacionais ou comuns. Dentro da sua ZEE cada estado possui “direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo, e no que se refere a outras actividades com vista à exploração e aproveitamento da zona para fins económicos, como a produção de energia a partir da água,

das correntes e dos ventos” (*United Nations Convention on the Law of the Sea* - UNCLOS, Art.º 56, 1ª, 1982). Além disso, o estado costeiro possui jurisdição no que se refere à “colocação e utilização de ilhas artificiais, instalações e estruturas”, “investigação científica marinha” e “protecção e preservação do meio marinho” (UNCLOS, 1b, 1982).

A enorme ZEE portuguesa representa, pois, um grande potencial económico para o país, sobretudo se se considerarem recursos ainda não exploráveis, mas representa, também, uma enorme responsabilidade face à preservação de tão extensa área marítima. Portugal ocupa a décima-primeira posição na lista das maiores ZEEs (combinadas com o mar territorial) do mundo. A lista é encabeçada pelos Estados Unidos (1º lugar) e pela França (2º).

1.4.1. ZEE portuguesa

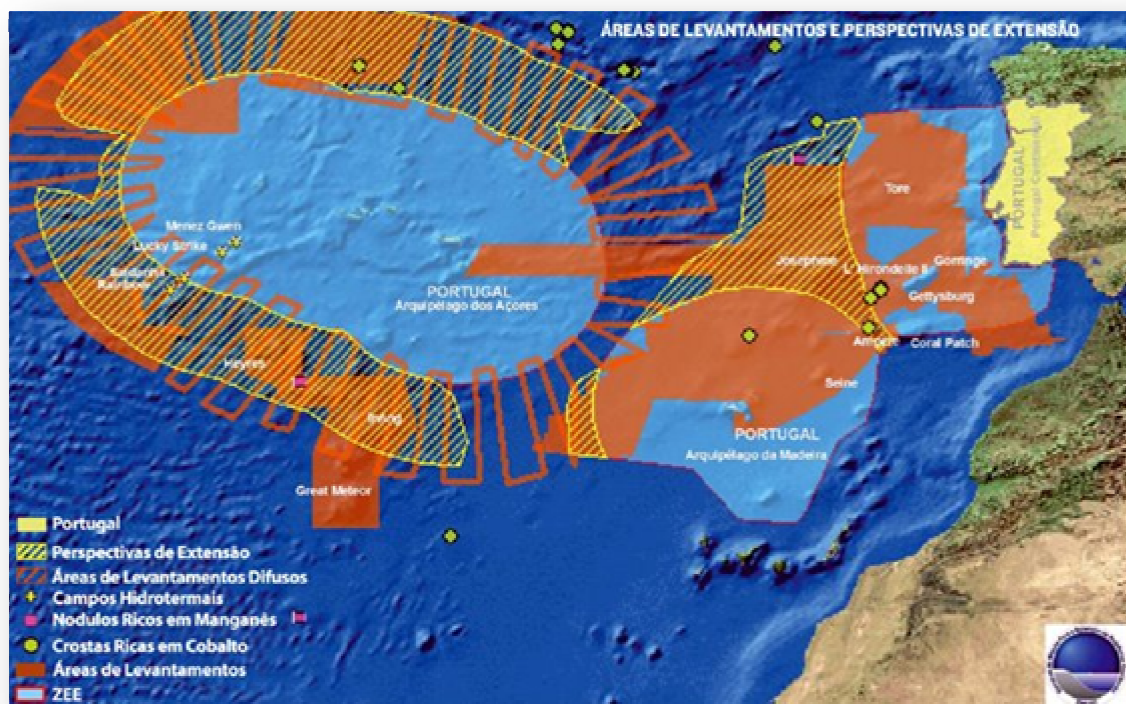


Mapa 1 – Zona Económica Exclusiva Portuguesa, (Souto, 2007).

Portugal passou, desde 1977, a contar com uma ZEE de 1.714.800km², assim repartida: 319.500km² em Portugal Continental; 984.300km² na Região Autónoma dos Açores e 411.000km² na Região Autónoma da Madeira. Em

face da possível futura extensão da Plataforma Continental, Portugal poderá ainda alargar o seu espaço marítimo.

1.4.2. Alargamento da ZEE portuguesa



Mapa 2 – Levantamentos Hidrográficos, (EMEPC).

Actualmente procede-se a novos estudos para proposta de extensão da Plataforma Continental de Portugal, para além das 200 milhas náuticas e também na prospecção e exploração desses recursos naturais vivos e não vivos, do fundo do mar.

O reconhecimento das potencialidades do solo e subsolo marinho afecto à ZEE portuguesa será de extrema importância para a economia do país designadamente nos recursos minerais em domínio profundo, relativamente à existência ou não de manganês e cobalto. Não menos importantes são os recursos pesqueiros e a exploração de depósitos de inertes (areias e cascalhos), (Dias, 2003).

2. FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

O Capítulo 2 pretende elucidar o leitor sobre algumas fontes de renováveis de energia alternativas, cuja origem é fundamentalmente o mar. Portugal é proprietário de uma extensa ZEE, podendo e devendo explorá-la em seu proveito.

2.1. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia do vento marítimo

O aumento da utilização do vento para a produção de energia eléctrica é talvez o acontecimento mais relevante no campo da energia nas últimas duas décadas. Esse desenvolvimento ocorreu especialmente na Europa.

O vento resulta do desigual aquecimento da superfície da Terra pela radiação solar. Esse aquecimento depende da latitude (é máximo nas regiões equatoriais e mínimo nas regiões polares), da época do ano, da hora do dia, da natureza da superfície (água, terra) e da existência de nuvens, (Falcão, 2006).

O resultado é um padrão global de circulação atmosférica de grande escala à superfície da Terra. A falta de uniformidade da superfície (oceanos, continentes, grandes ilhas) leva a que estes padrões globais sejam perturbados por variações de menor escala (centenas ou milhares de quilómetros). Da interacção (extremamente complexa e não linear) de todos estes efeitos e variações, resulta um comportamento caótico, a que está associada a dificuldade em prever o estado do tempo em cada local com mais do que alguns dias de antecedência. Há no entanto características médias que permitem estabelecer diferenças climáticas entre regiões distintas.

A uma escala ainda menor, a presença de montes e montanhas altera a distribuição espacial do vento, estando em geral associadas as zonas mais altas a maiores valores da velocidade do vento. As zonas costeiras são normalmente ventosas, em resultado do aquecimento desigual da superfície do mar e da terra. Quando a temperatura do mar é maior do que a da terra, ocorre uma circulação superficial de ar local da terra para o mar, com ar mais quente a subir sobre mar e ar mais frio a descer sobre a terra. Como a terra aquece e arrefece mais rapidamente do que o mar, esta circulação atmosférica tende a inverter-se do dia para a noite e a repetir-se diariamente.

O conhecimento do clima do vento é essencial para estudos de viabilidade económica do aproveitamento da energia eólica num determinado local. O valor médio anual da velocidade do vento pode variar apreciavelmente de ano para

ano. Em geral consideram-se necessários registos durante um período mínimo de cerca de cinco anos para caracterizar satisfatoriamente o clima.

Numa escala de tempo inferior a um ano, as variações sazonais são mais previsíveis, embora haja grandes variações em escalas de tempo ainda menores cuja previsão não é possível para além de alguns dias. Estas variações sinópticas estão associadas à passagem de sistemas meteorológicos. Conforme referido acima, podem ocorrer ainda variações ao longo do dia (variações diurnas) que são relativamente fáceis de prever.

A turbulência atmosférica produz oscilações numa escala de tempo ainda menor, inferior a alguns minutos, sendo particularmente importantes por perturbarem o funcionamento da turbina eólica, (Falcão, 2006).

O vento marítimo europeu é a maior fonte de energia para a energia eólica *offshore*. Esta forma de energia é um dos exemplos de fontes renováveis de energia capaz de se tornar o principal fornecedor de energia eléctrica da União Europeia.

O governo britânico, em 2003 aspirava alcançar no ano 2050, a redução de 60% de emissões de CO₂, com a utilização de energia eólica *offshore*. As suas necessidades anuais de energia eléctrica rondam os 350 TWh, prevendo-se assim, que a energia eólica *onshore* poderá contribuir com cerca de 50 TWh por ano, em contrapartida a energia eólica *offshore* poderá contribuir com 100 TWh/ano, (Armstrong et al., 2007).

	Consumo Anual [TWh]	Produção Eólica Offshore [TWh]	Produção Eólica Offshore %	Fracção do Potencial %
Áustria	60,15	0,24	0,4	8
Dinamarca	81,73	5,28	6	18
França	431,86	0,20	0,04	0,2
Alemanha	531,78	18,49	3,47	77
Espanha	221,42	11,95	5	14
Reino Unido	349,20	1,45	0,4	1
Total	2562,7	42,60	1	6,6

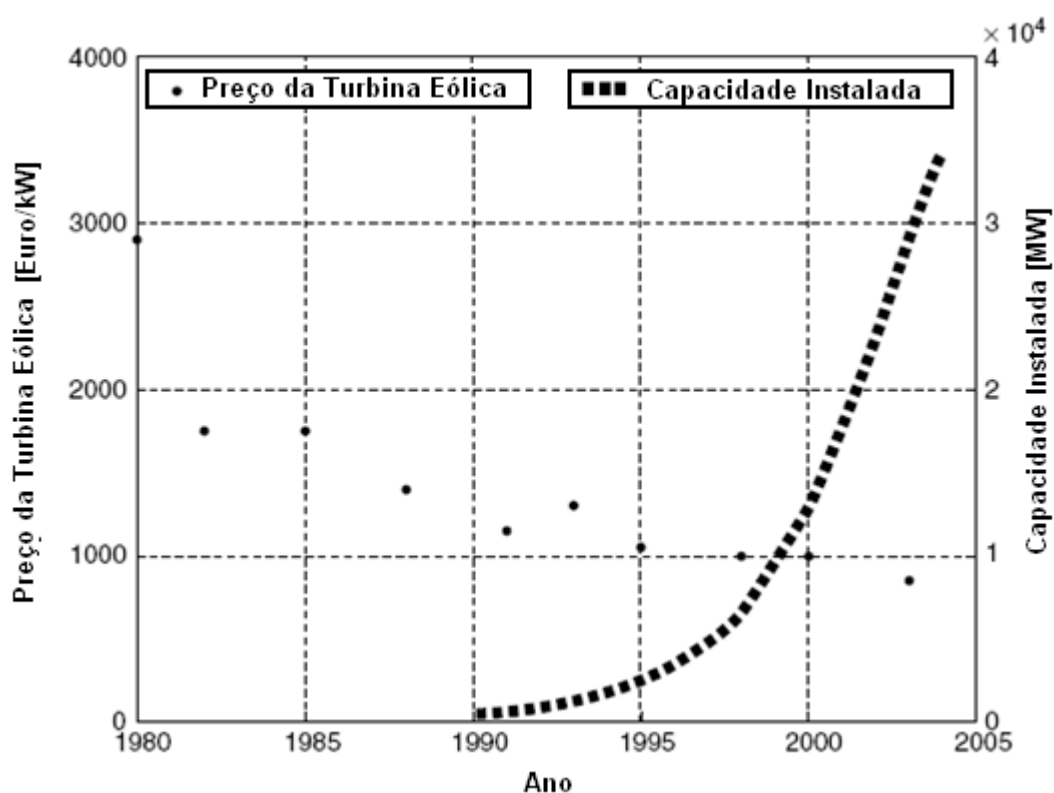
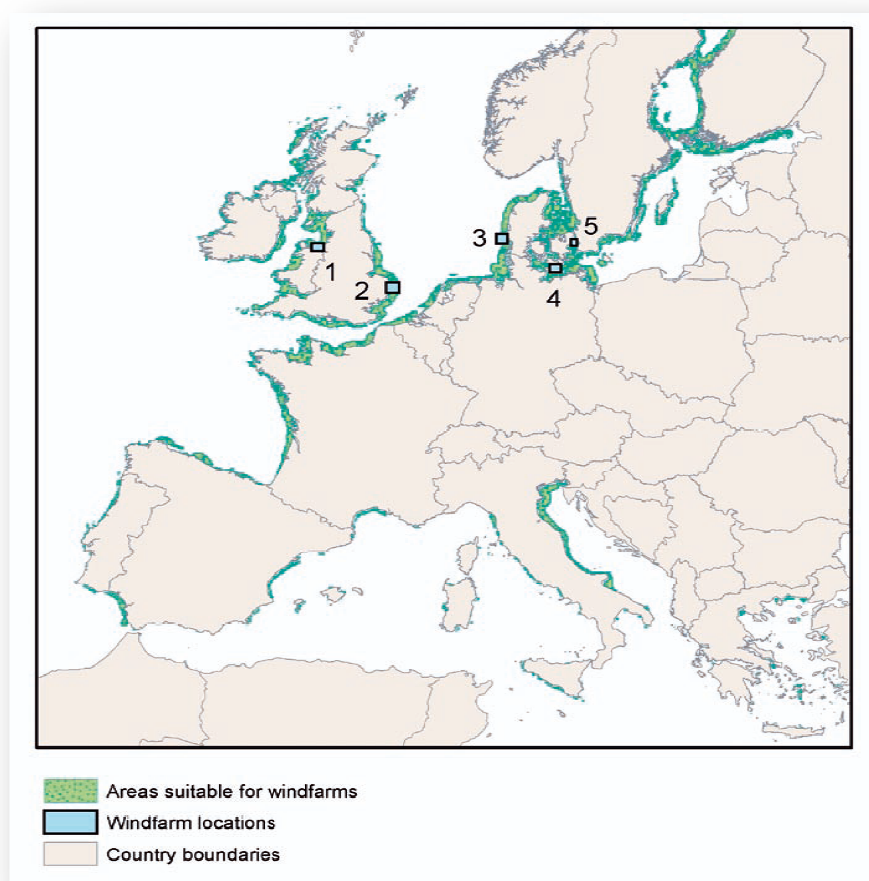
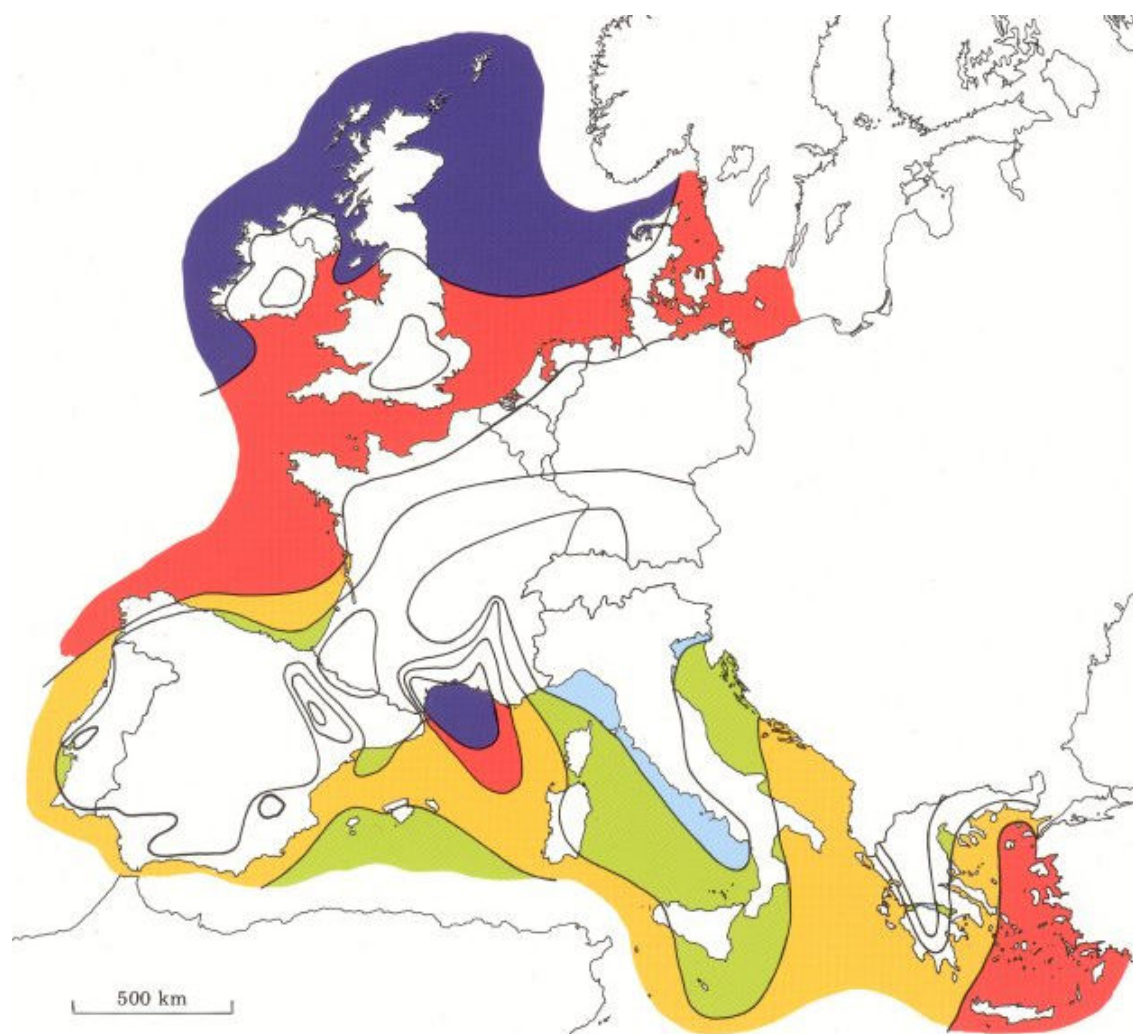
Tabela 1 – Produção eólica *offshore* em vários países europeus, (Armstrong et al., 2007).

Figura 3 – Crescimento de potência total instalada de 1980 a 2005 e decréscimo do custo das turbinas eólicas, (Armstrong et al., 2007).

Como se poderá verificar na Mapa 4, o Reino Unido é particularmente forte comparativamente aos outros países europeus no que diz respeito à potência do vento, no entanto a exploração deste recurso é muito reduzida. A Figura 3 mostra o rápido crescimento de potência instalada em energia eólica na Europa. No ano 2005 atingiu 35 GW de potência instalada, constituindo 70 % do total mundial. A contribuição da Europa é liderada pela Alemanha, Espanha e Dinamarca com, respectivamente, 16.629 MW, 8.263 MW e 3.117 MW, seguidos pela Itália, Holanda e Reino Unido com, 1.125 MW, 1.0178 MW e 888 MW respectivamente, (Armstrong et al., 2007).



Mapa 3 – Parques eólicos *offshore* existentes ou em construção (1-North Hoyle, 2-Scroby Sands, 3-Horns Ver, 4-Nysted, 5-Middelgrunden), (Greenpeace, 2004).



Wind resources over open sea (more than 10 km offshore) for five standard heights										
	10 m		25 m		50 m		100 m		200 m	
	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²
	> 8.0	> 600	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 10.0	> 1100	> 11.0	> 1500
	7.0-8.0	350-600	7.5-8.5	450-700	8.0-9.0	600-800	8.5-10.0	650-1100	9.5-11.0	900-1500
	6.0-7.0	250-300	6.5-7.5	300-450	7.0-8.0	400-600	7.5- 8.5	450- 650	8.0- 9.5	600- 900
	4.5-6.0	100-250	5.0-6.5	150-300	5.5-7.0	200-400	6.0- 7.5	250- 450	6.5- 8.0	300- 600
	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 6.0	< 250	< 6.5	< 300

Mapa 4 – Valores de ventos marítimos a diferentes alturas a mais de 10 km da costa, (European *Offshore* Wind Atlas).

Os consultores de Garrad Hassan publicaram um relatório internacional (Greenpeace, 2004) intitulado “*Sea Wind Power*” que visa mostrar como uma única fonte renovável de energia – energia eólica *offshore* – pode produzir até ao ano de 2020 cerca de 30% das necessidades de electricidade da União Europeia – só uma pequena fracção a menos comparativamente ao que a energia nuclear

produz actualmente – sendo que este aproveitamento implica a instalação de 240 GW, na União Europeia, em capacidade de produção até ao ano de 2020, que representa aproximadamente 10 vezes mais do que a instalada até ao ano de 2004.

Uma grande vantagem relativa à utilização de energia eólica é a produção de energia eléctrica limpa, não ser prejudicial ao ambiente, dado que não liberta CO₂.



Figura 4 – Aerogeradores de 2MW localizados num parque eólico *offshore* de 40MW situado perto da Cidade de Copenhaga, Dinamarca, (RETScreen, 2008).

A exploração da energia eólica *offshore* implicará algumas mudanças físicas na rede eléctrica. Caso este tipo de aproveitamento cresça significativamente faz sentido considerar a expansão da rede de forma a ir de encontro à produção eléctrica de energia de carácter transitório/aleatório resultante da energia eólica *offshore*. Será necessário adoptar novas práticas de operação da rede eléctrica bem como alterações nas turbinas eólicas de modo a possibilitar uma melhor integração desta nova fonte. Estas alterações devem-se ao facto desta fonte energética ser uma tecnologia muito recente e a sua produção não ser contínua como já foi anteriormente mencionado.

A Figura 4 mostra o exemplo de um parque eólico *offshore* constituído por 20 turbinas eólicas, localizado perto da cidade de Copenhaga, Dinamarca, sendo este, um parque com 40 MW de potência instalada.

É impossível prever onde estarão localizados os parques eólicos *offshore* no ano 2020, ou mesmo qual a sua taxa de crescimento anual. No entanto todo o estudo apresentado foi baseado em aspirações, estabelecendo uma relação com as explorações já existentes e projectando o crescimento deste aproveitamento usando mapas e tabelas para ilustrar a área de mar requerida para acomodar este crescimento.

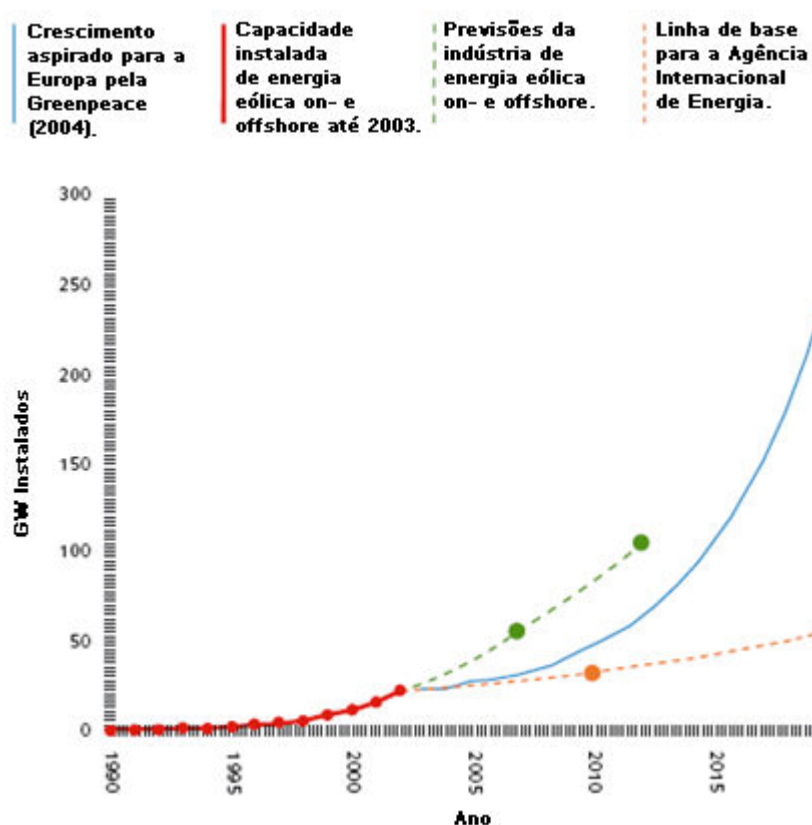


Figura 5 – Crescimento de potência instalada prevista até 2020, (Greenpeace, 2004).

Para este tipo de aproveitamento existem diversas medidas/etapas a ter em consideração antes da sua implementação. A Greenpeace (2004), considerou algumas etapas como etapas chave necessárias para a

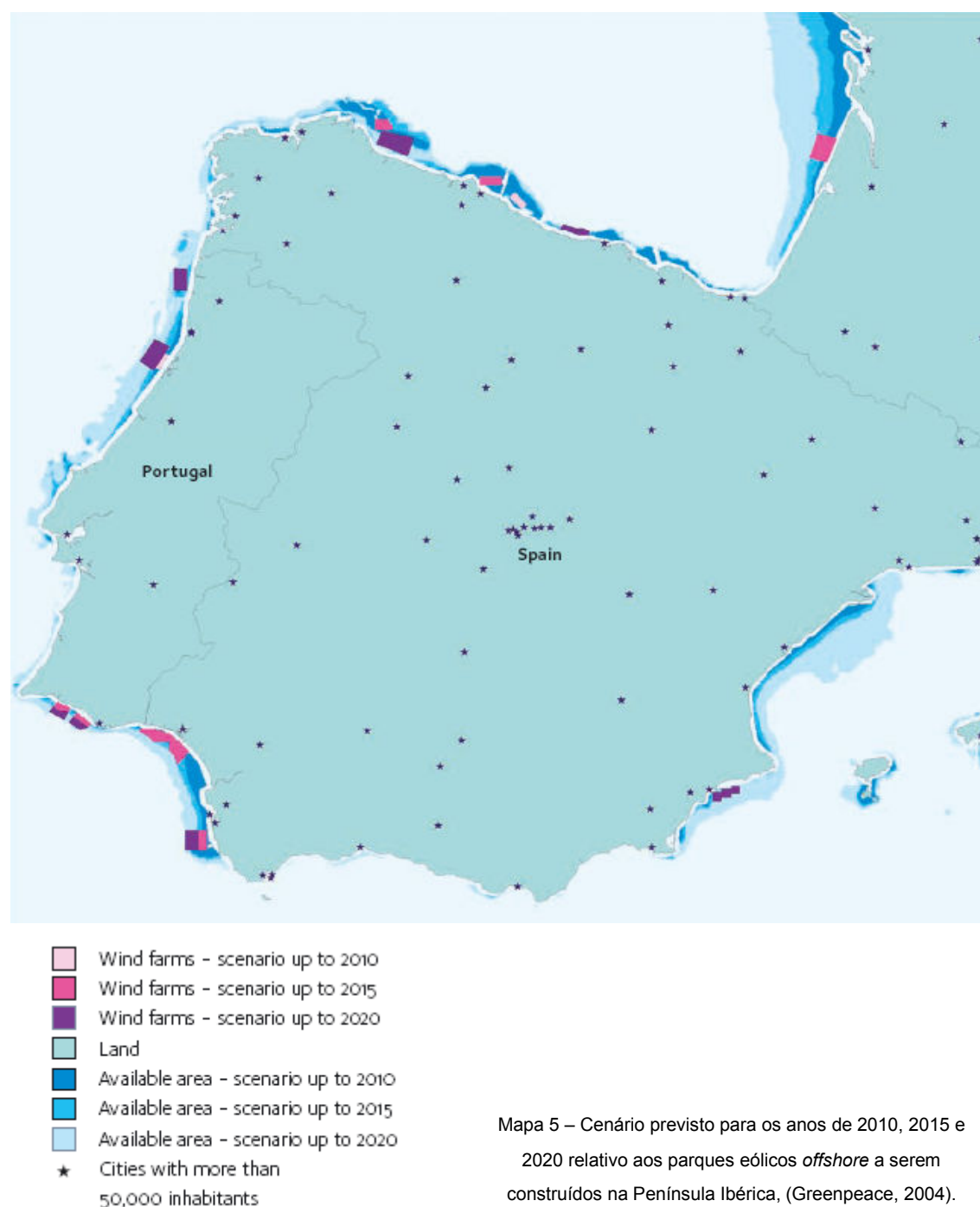
implementação em massa desta fonte, assim sendo, seguem-se as mais importantes:

- Ambição da União Europeia em estipular objectivos concretos a atingir até ao ano de 2020, construindo, formalizando e ampliando as directivas, já existentes, relativamente às fontes renováveis de energia;
- Assistência financeira, incluindo pesquisa, desenvolvimento e demonstração no campo da produção de energia eléctrica por meio da energia eólica *offshore*;
- Acção para encorajar instituições financiadoras a investir em grande escala em projectos de parques com aproveitamento de energia eólica *offshore*, incluindo a direcção de investimento supervisionada pelo governo;
- Uma União Europeia aberta a aproximações estratégicas para o desenvolvimento da capacidade da rede eléctrica, que deve antecipar os requisitos a longo prazo do aproveitamento do vento *offshore*, incluindo o suporte, por exemplo, do programa TEN (*Trans-European Energy Networks*) da Comissão Europeia, que providencia fundos para estratégias de ligações de electricidade e gás, para a instalação de rede em *offshore*, o que encorajará investidores na Europa a financiar projectos relativos ao vento *offshore*.

Com a evolução deste tipo de aproveitamento, desde 2005 estão disponíveis turbinas eólicas com 5 MW de potência. No entanto desde o final do ano 2007 início de 2008, a ENERCON fabricou aerogeradores de 6 MW e de 7 MW (com 126 m de diâmetro) (Rodrigues, 2008), possivelmente espera-se que até 2020 se desenvolvam turbinas eólicas *offshore* de maiores capacidades.

Na Alemanha já se atingiu um crescimento em capacidade na ordem dos 3,3 GW, em 2002, o que é equivalente a uma instalação de aproximadamente nove aerogeradores de 1 MW por dia. É esperada a instalação de 11 GW por ano nesse país até 2012, o que equivale à instalação de 15 aerogeradores de 2

MW por dia. Perante tal panorama o que se torna importante é a taxa de instalação dos aerogeradores.



2.1.1. Descrição dos sistemas de extracção da energia eólica *offshore*

A altura e diâmetro dos referidos aerogeradores ronda normalmente os 80 m de altura com 80 m de diâmetro das pás (Rodrigues, 2008) e em águas profundas poderá chegar aos 114 m de altura, rondando os 124 m de diâmetro, como mostra a Figura 6.

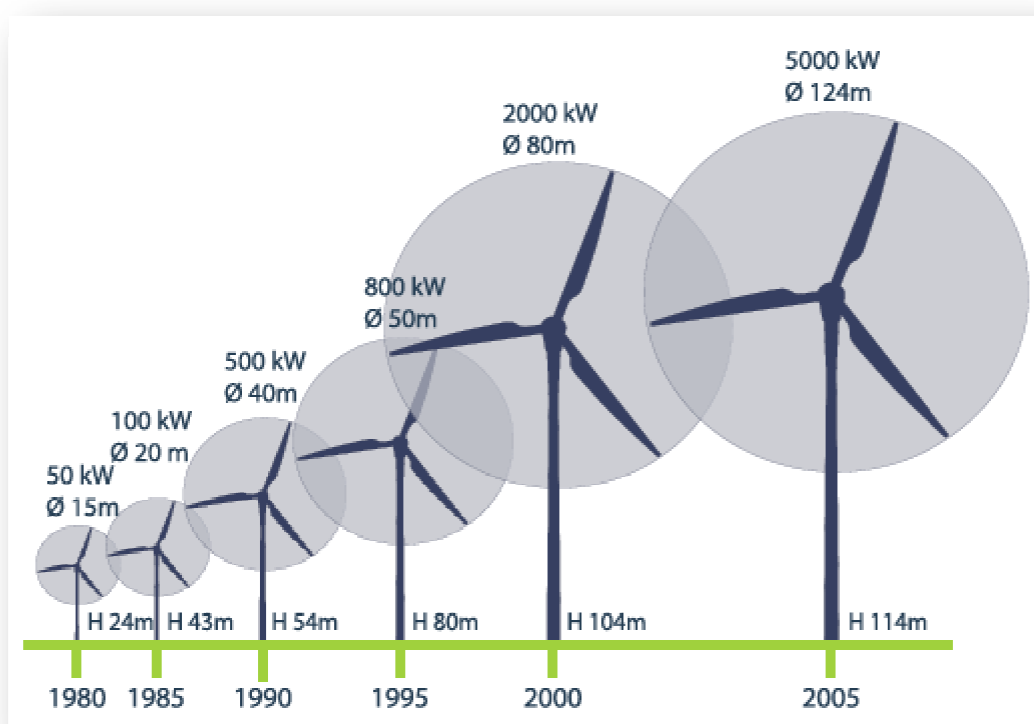


Figura 6 – Evolução das turbinas eólicas de 1980 a 2005, (Sweco Grøner, 2007).

Neste momento a maioria dos aerogeradores em utilização rondam os 2 a 3 MW de potência. No entanto, desde meados de 2005 estão disponíveis turbinas eólicas de 5 MW. Como já foi referenciado existem também turbinas eólicas de 6 e 7 MW, mas estas ainda se encontram em fase experimental.

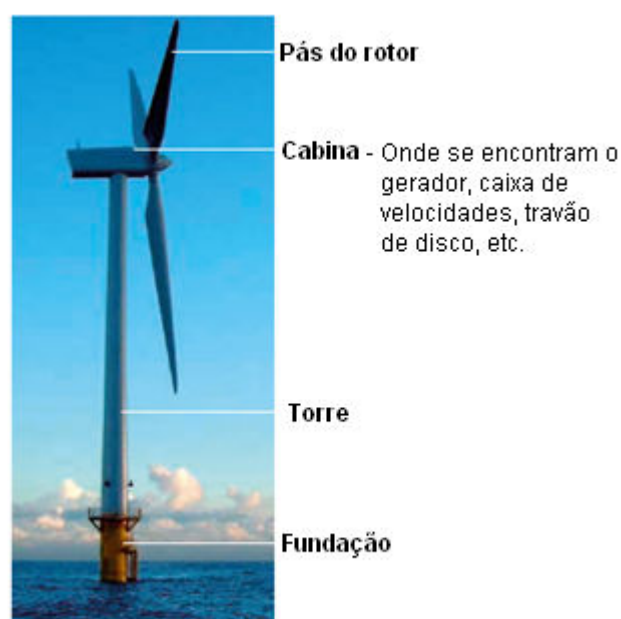


Figura 7 – Principais componentes de uma turbina eólica, (Greenpeace, 2004).

Existem diferentes tipos de fundações de colocação das turbinas eólicas no mar, dependendo da profundidade a que se sujeitam. A Figura 9 e a Figura 10, ilustram os vários tipos existentes. A Figura 8, mostra a profundidade a que se deve usar cada tipo de fundação e a evolução que estas têm vindo a sofrer.

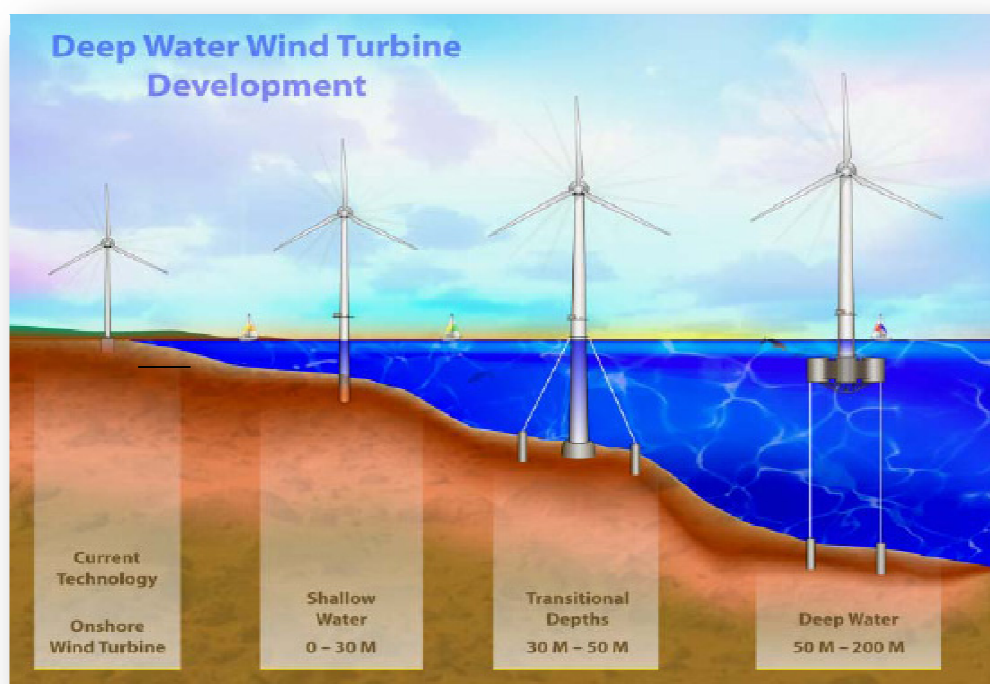


Figura 8 - Evolução das turbinas eólicas em águas profundas, (DWIA, 2003).

2.1.1.1. Tipos de fundações de turbinas eólicas *offshore*

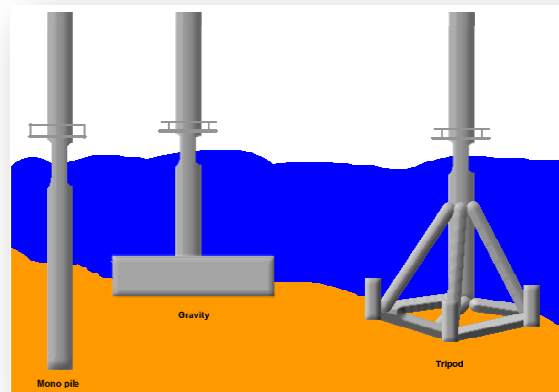


Figura 9 – Esquema dos tipos de fundações as turbinas eólicas *offshore*, perto da costa, (DWIA, 2003).

- **Monopilares:** consiste num pilar de aço enterrado no subsolo da costa 100 a 200 metros de profundidade.
- **Fundação gravitacional:** é o mais utilizado na maioria dos projectos de parque eólicos *offshore*, consistindo no fabrico de uma base em aço ou cimento pousada no fundo do mar. Esta fundação depende do solo para ficar vertical.
- **Fundação trípode:** raramente é utilizado, porque depende do tipo de solo. Os três pilares de apoio ficam enterrados no subsolo cerca de 100 a 200 metros de profundidade.

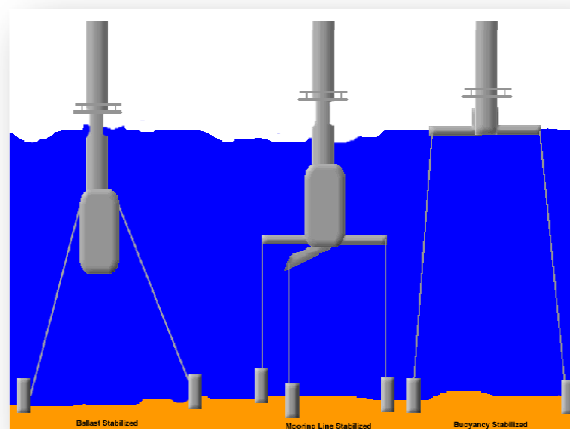
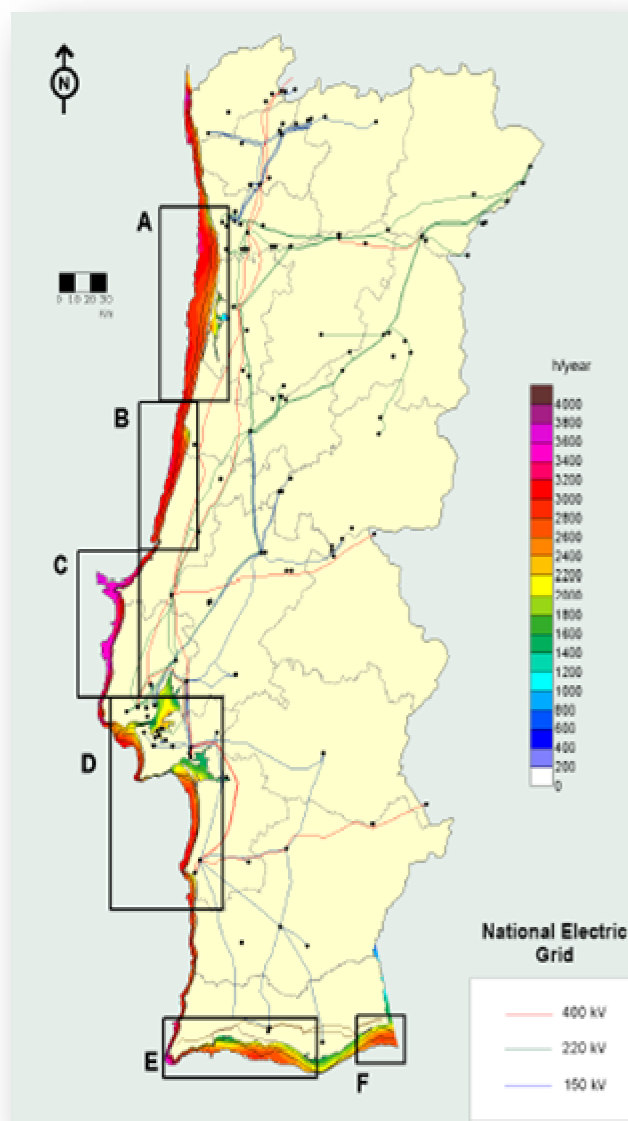


Figura 10 – Esquema dos tipos de fundações as turbinas eólicas *offshore*, em águas profundas, (DWIA, 2003).

A Figura 10 ilustra três tipos de fundações em águas profundas, no entanto estas formas ainda não são comercializadas, pois acarretam problemas relacionados com a estabilidade, em mar alto, das turbinas eólicas. Sabe-se apenas que se dão pelo nome de fundações flutuantes e têm diversas formas de se ancorar, como se pode verificar na figura já referida, (DWIA, 2003).

2.1.2. Aproveitamento eólico *offshore* em Portugal



Mapa 6 – Estudo sobre o aproveitamento eólico *offshore*, (Simões et al., 2007).

Em Portugal, o aproveitamento de energia eólica *offshore* é uma das áreas ainda por explorar. No entanto, o seu potencial está a ser, actualmente, alvo de estudo por parte de várias empresas portuguesas, dado que o vento marítimo na costa portuguesa atinge, 7 a 8 m/s a 50 m de altura e 7,5 a 8,5 m/s a 100 m, como se pode verificar através do Mapa 4.

Recentemente foi desenvolvido um estudo pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) cujo objectivo incidiu na zona da costa portuguesa com condições mais propícias à exploração do aproveitamento eólico *offshore*. A Figura 11 ilustra os locais com maior potencial. Este estudo teve por base simulações numéricas com modelos de mesoescala (utilização do programa MM5) com condições fronteira obtidas através do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Não há ainda estudos efectuados com base em medições *offshore*, de modo que o referido estudo poderá não corresponder realmente às condições *offshore* da costa portuguesa, (Rodrigues, 2008).

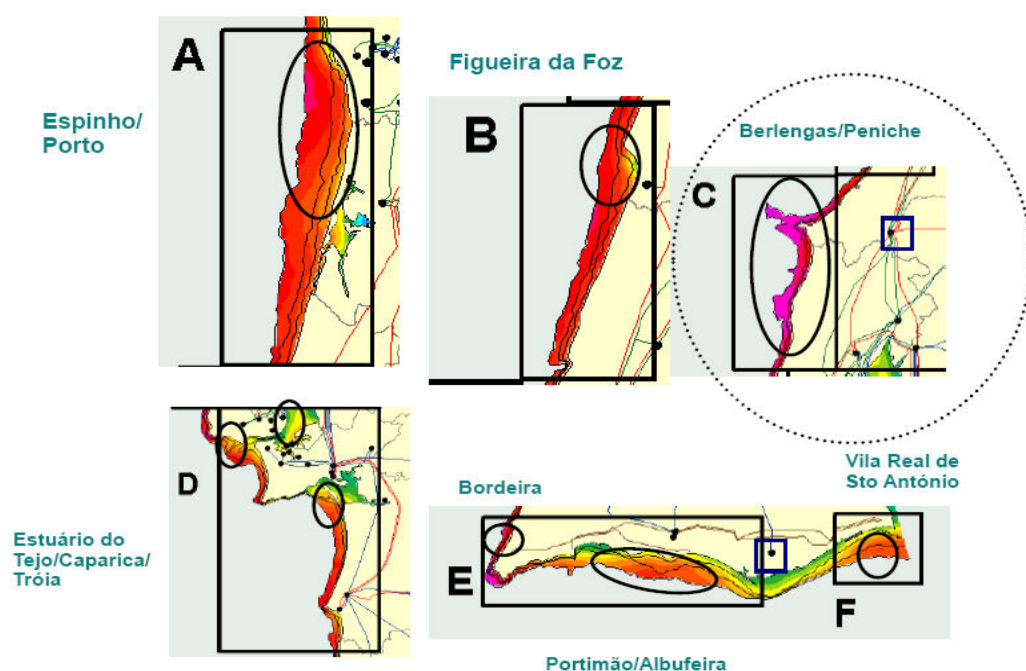


Figura 11 - Locais mais propícios ao aproveitamento de ventos marítimos na costa portuguesa, (Simões et al., 2007).

Segue-se a identificação dos locais, pertencentes à costa portuguesa, mais propícios ao aproveitamento da energia eólica *offshore*, assim como o número de horas equivalentes à potência nominal (NEP's), batimétricas e distância à costa, (Simões et al., 2007).

Area	Região	Estimativas de Produção (NEP's) GEWE 1.5SL (h/year)	Production estimates (NEP's) VESTAS V80 (h/year)	Batimétricas (m)	Distância à costa (km)
A	Porto/Espinho	2600 a 3000	2600 a 2800	20 a 30	5
B	Figueira da Foz	2600 a 3000	2600 a 2800	20 a 35	5
C	Berlengas/Peniche	3400 a 3700	2800 a 3200	20 a 40	10 a 15
D	Estuário do Tejo	2400 a 2600	2000 a 2400	10	0,5 a 7
	Caparica	2600 a 3000	2200 a 2600	10 a 20	5 a 7
	Setúbal/Tróia	2600 a 3000	2000 a 2600	10 a 30	5
E	Bordeira	2600 a 3400	2800 a 3000	20 a 40	2 a 3
	Portimão/Albufeira	2600 a 3000	2200 a 2600	10 a 20	5
F	Vila Real de Santo António	2600 a 3000	2200 a 2600	20 a 35	10 a 15

Tabela 2 – Estimativas de produção eólica *offshore*, (Simões et al., 2007).

A partir dos dados das Tabela 2 pode-se, facilmente concluir, que este aproveitamento em Portugal é viável e poderá ser mais uma das soluções a optar para ajudar as fontes de energia já existentes. No entanto, é de mencionar que não existem estudos, referentes aos possíveis obstáculos (desde impactos ao nível piscatório; passagem de barcos; visuais, sonoros e possíveis obstáculos surpresa aquando da implementação dos aerogeradores *offshore* na costa marítima) à construção destes parques eólicos *offshore*, em Portugal, (Rodrigues, 2008).

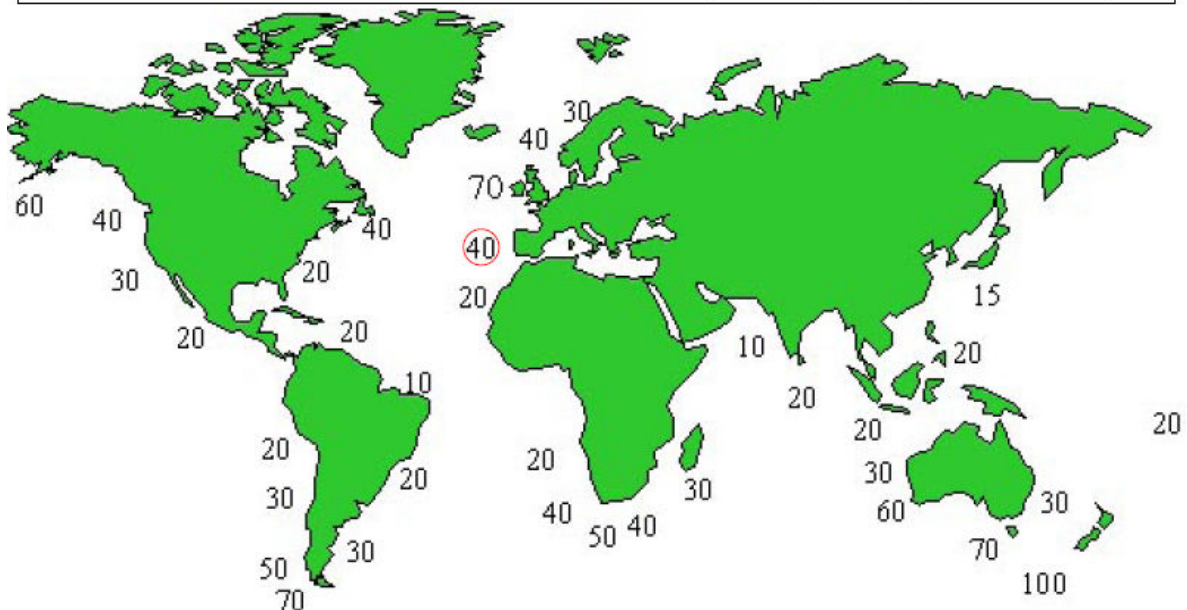
2.2. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das ondas

A quantidade de energia envolvida na acção das ondas é enorme, mas são também enormes as dificuldades a encontrar, especialmente as relativas aos danos causados nos equipamentos pelas tempestades. Infelizmente, do ponto de vista de energia por metro de frente de onda, as instalações teriam que ser muito compridas para aproveitar o máximo de energia disponível. É importante referir que até 2004, nenhum centro de aproveitamento da energia das ondas foi implementado. O “*Department of Trade and Industry*” estudou o potencial aproximado do Reino Unido e chegou a um resultado de 333 MW. Foi também estimada pela companhia Britânica “*Carbon Trust*” que teoricamente o aproveitamento do poder das ondas poderia gerar 14% da energia eléctrica actualmente consumida no Reino Unido, se todos os locais adequados a esse aproveitamento estivessem conectados a uma única rede, (Black, 2006).

Em 2005, a montagem de uma extensa instalação de 40 metros em Wollongong, Austrália, custou aproximadamente 4 milhões de Euros sendo esperada uma potência média de 57 kW. Pensa-se que as ondas nesse local são capazes de produzir 7 kW/m, o que significa que a instalação tem um rendimento de 15%. A produção eléctrica desta instalação tem um custo associado de 50000€/kW (pico), no entanto futuras instalações terão valores associados muito inferiores, devido ao facto da referida instalação se tratar de uma instalação experimental.

Estudos mostram que, no mundo há cerca de 16.000 km de costa marítima com excelentes condições para captação de energia proveniente das ondas, ou seja com valores de 30 kW/m. No entanto conseguir-se-ia três vezes mais energia se locais abaixo de 20 kW/m fossem utilizados. Instalações perto da costa não estariam tão vulneráveis aos danos provocados pelas tempestades, mas precisariam de uma grande parcela de área de costa assim como equipamentos suficientemente robustos e consequentemente caros, o que impede o avanço desta tecnologia até à data, (Trainer, 2007).

Distribuição mundial do nível de energia das ondas Valores médios anuais em kW/m (em águas profundas)



Mapa 7 – Valores de fluxo médio da energia das ondas em kW/m ou MW/km, (Falcão et al., 2004).

Fontes ligadas à indústria acreditam que se consegue obter 40% de rendimento produzindo 12 kW/m nos melhores locais. Se 10% dessa energia pudesse ser realmente utilizada e se se conseguissem os ditos 40% de rendimento a energia produzida seria equivalente a 18 centrais eléctricas de 1000 MW. O equivalente a uma central eléctrica de 1000 MW seria uma estação de aproveitamento de ondas com o comprimento de 80 km, (Trainer, 2007). Hayden (2004) obteve um panorama semelhante de acordo com outro projecto experimental; 130 km, assumindo 25% de rendimento, adicionando uma estimativa de 20 kW/m, dava o equivalente a 76 centrais eléctricas de 1000 MW. Esta seria uma contribuição muito bem-vinda, mas a indústria não acredita que a energia das ondas exceda os 5 a 10% das necessidades de electricidade. A quantidade mundial de electricidade gasta nos dias de hoje equivaleria à produção de cerca de 9000 centrais de produção de electricidade proveniente das ondas, (Trainer, 2007). Ou seja, não existiriam locais disponíveis suficientes

para se instalarem tais centrais se se recorresse exclusivamente à energia das ondas para produzir a electricidade actualmente consumida pela humanidade.

Na Europa, tem havido algum investimento e desenvolvimento desta fonte energética, no Reino Unido, Irlanda, Dinamarca, Holanda, Noruega, Suécia e, em menor grau, em França para além de Portugal. O recurso à energia das ondas parece ser particularmente favorável na Irlanda e Reino Unido (Escócia). Foi anunciada a Julho de 2001 pelo Governo Regional Escocês a criação dum centro de testes de tecnologias marítimas de ondas e correntes na costa da ilha Orkney. No Reino Unido, na ilha de Islay, foi recentemente construída, pela empresa *Wavegen* e está em operação, uma central de coluna de água oscilante de 500 kW e estão em desenvolvimento, pelas empresas *Ocean Power Delivery* e *Wavegen*, com financiamento estatal, dois protótipos *offshore*. Um consórcio holandês (AWS) desenvolveu um sistema *offshore*, estando previsto que um protótipo de 2 MW seja instalado em breve ao largo da costa portuguesa, (Falcão et al., 2004).

Fora da Europa, tem havido actividade em vários países, com relevo para o Japão, Índia, China, Canadá e Austrália. Foram construídos protótipos com potências entre 60 e 150 kW no Japão, Índia e China. Em Agosto de 2001, e a título de demonstração e transferência de tecnologia, a *British Columbia Hydro* (Canadá) lançou um concurso internacional para o projecto e construção de duas centrais com um total de 4 MW na ilha de Vancouver. Na Austrália foi anunciada a construção (na costa sul) duma central de coluna de água oscilante pela empresa *Energetec*.

No âmbito do programa JOULE da Comissão Europeia foi criada uma *European Wave Energy Network* (2000-2003) com participação de 8 países europeus. Em Outubro de 2001 foi assinado, no âmbito da *International Energy Agency*, um “*Implementing Agreement of Ocean Energy*” de que Portugal é o país coordenador.

As regiões costeiras portuguesas, em especial a costa ocidental do continente e as ilhas dos Açores, estão entre as que melhores condições naturais têm a nível europeu e mesmo mundial. Dois dos poucos protótipos de

dimensão industrial estão em Portugal: um em operação na ilha do Pico e outro em Viana do Castelo, (Falcão et al., 2004).

2.2.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia das ondas

A situação actual caracteriza-se por uma substancial variedade de dispositivos e métodos de extracção de energia das ondas. Felizmente no caso de Portugal existe um espaço relativamente amplo para o seu desenvolvimento. É possível que se venha a convergir para um pequeno número de soluções tecnológicas distintas, adequadas a situações diferentes (à semelhança dos vários tipos de turbinas hidráulicas apropriadas conforme a altura de queda). Têm sido propostos diversos critérios para classificar os sistemas de extracção de energia das ondas.

Os dispositivos de extracção de energia das ondas podem ser instalados na costa, em águas pouco profundas ou ao largo, em águas de maior profundidade. De acordo com a localização dos dispositivos é habitual classificá-los em:

- dispositivos sobre a costa, ou de primeira geração,
- dispositivos próximos da costa, assentes no fundo entre 10 a 25 m de profundidade, ou de segunda geração,
- dispositivos ao largo, ou de terceira geração.

Na literatura inglesa é comum designá-los, respectivamente por dispositivos *onshore*, *nearshore* e *offshore*.

Nos subcapítulos seguintes são apresentadas as características técnicas dos sistemas de aproveitamento de ondas. Do ponto de vista técnico qualquer destes dispositivos pode ser instalado em Portugal, ou na costa, caso dos sistemas de coluna de água oscilante assentes no fundo, ou em profundidades

de 50 a 80 m, no caso dos sistemas *offshore*, permitindo aproveitar o elevado recurso energético disponível ao largo do país.

2.2.1.1. Centrais de Coluna de Água Oscilante (CAO)

O sistema Coluna de Água Oscilante (CAO) consiste numa estrutura oca semi-submersa de betão ou aço, no interior da qual existe uma câmara-de-ar que está em contacto com o mar exterior, através de uma abertura na parte submersa da parede frontal da estrutura. É através desta abertura que as ondas se propagam para o interior da estrutura, provocando a oscilação vertical da superfície livre interior. Na fase de subida da superfície livre ocorre a compressão do ar interior, que flui para a atmosfera através de uma conduta que contém uma turbina de ar à qual está acoplada um gerador eléctrico. O processo inverso ocorre na fase de descida da onda. A Figura 12 ilustra o referido processo.

A CAO é a tecnologia mais investigada até à data com protótipos instalados em vários países, nomeadamente a Escócia, o Japão, a Índia, a China e Portugal (Açores). No passado existiu uma central deste tipo na Noruega e prevê-se para breve a construção de uma central na Austrália, (Falcão et al., 2004).

A potência destas centrais depende do número de turbinas instaladas, sendo habitual utilizar grupos de cerca de 0,5 MW de potência instalada. Este limite tem a ver com as amplitudes de pressão de ar que normalmente é possível criar neste tipo de centrais e com as dimensões máximas das turbinas (inferiores a 2,5 m de diâmetro), (Falcão et al., 2004).

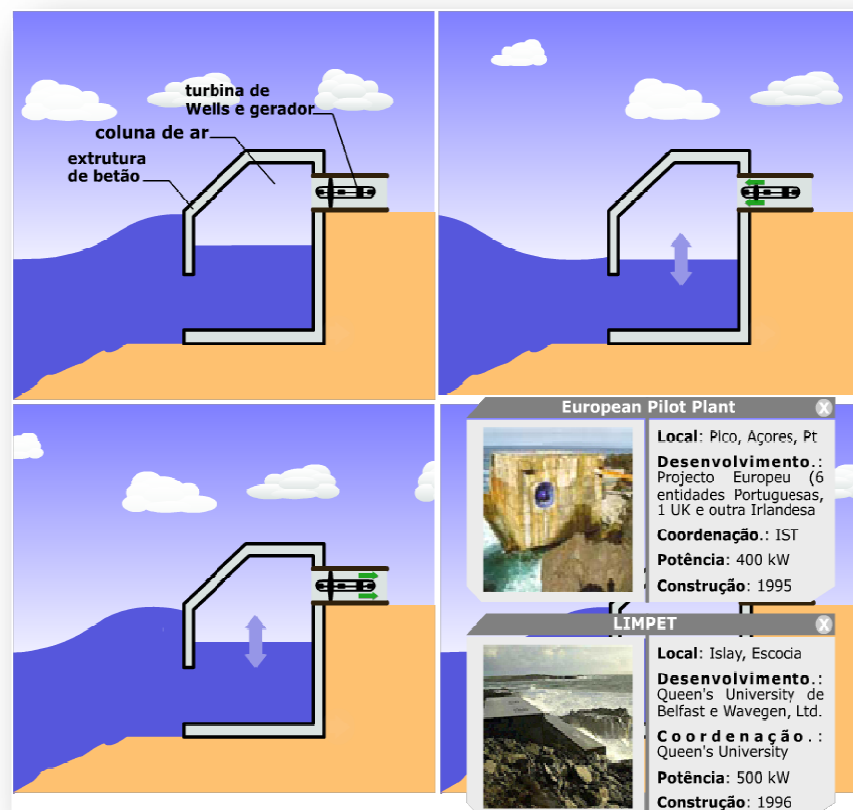


Figura 12 – Aproveitamento de ondas por coluna de água, (Portal das energias renováveis, 2008).

Para além da estrutura, estas centrais utilizam o seguinte equipamento:

- Turbina de ar (a turbina deve rodar sempre no mesmo sentido independente do escoamento de ar ser de ou para a atmosfera);
- Gerador eléctrico, normalmente do tipo assíncrono, associado a um sistema de electrónica de potência que permite colocar na rede a energia eléctrica com frequência e potencial constante;
- Sistema de aquisição de dados e de controlo da central;
- Válvulas de ar, normalmente uma válvula de isolamento e outra de accionamento rápido, podendo ter funções de controlo do caudal da turbina;
- Condução de ar (com um diâmetro entre 1,5 e 2,5 metros).

Este tipo de equipamento e a própria estrutura da central podem ser construídos integralmente em Portugal, podendo, no entanto, razões de ordem estratégica ou comercial ditar outras soluções, (Falcão et al., 2004).

A central da ilha do Pico, ilustrada na Figura 13, é um bom exemplo de uma central de CAO de primeira geração. Com uma potência instalada de 400 kW, é constituída por uma estrutura em betão com uma área interna de 12 m x 12 m ao nível médio da superfície livre, e está assente no fundo do mar numa reentrância da costa onde a profundidade é de cerca de 8 m. A concepção desta central foi inteiramente portuguesa, assim como os fornecimentos, à excepção dos do equipamento mecânico. Estiveram envolvidas no projecto e construção desta central o Instituto Superior Técnico (IST) (responsável científico do projecto comunitário associado), a EDP, a EDA, a Profabril (projecto, coordenação e fiscalização da obra de engenharia civil), a PROET (coordenação e fiscalização do equipamento), EFACEC (fornecimento do equipamento eléctrico e electrónico), a Marques Lda. (construção civil) e o INETI (caracterização do clima de ondas e sistema de aquisição de dados).



Figura 13 - Central de Energia das Ondas da Ilha do Pico, (Centro de energia das ondas, 2008).

Prevê-se que a evolução do sistema CAO passe pela sua integração em obras de protecção costeira (sistemas de 2ª geração) com vantagens económicas pela partilha de custos entre a central e a obra de protecção costeira. Estudos recentes apontam para a viabilidade económica das centrais CAO integradas em quebra-mares verticais de caixotões. Esta solução deveria ter sido implementada na cabeça do novo molhe Norte a construir na Foz do Douro, num projecto que envolveu a Consulmar (projectista), IPTM e Enernova e que foi lançado no início de 2005. Existem igualmente planos para a instalação de uma CAO integrada num quebra-mar em Mutriku, no País Basco, tendo sido realizados estudos preliminares pelo IST para a empresa EVE (Ente Vasco de Energia), (Falcão et al., 2004).

No futuro, prevê-se que venham a ser construídas centrais de CAO flutuantes, para aplicação offshore. Estas centrais de CAO de 3ª geração deverão beneficiar da experiência adquirida com as centrais integradas em quebra-mares, que podem ser vistas como uma oportunidade de desenvolver a tecnologia a baixo custo. Existem contactos com um consórcio irlandês para o desenvolvimento conjunto de centrais de CAO flutuantes de 3ª geração.

2.2.1.2. Wave Dragon

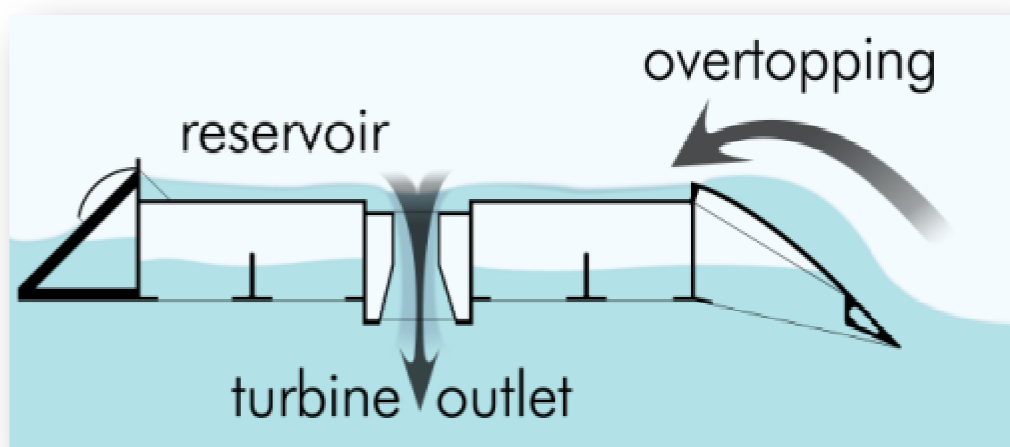


Figura 14 – Funcionamento do tipo Wave Dragon para aproveitamento de ondas, (Wave Dragon, 2005).

A Figura 14 representa o sistema Wave Dragon, que consiste num dispositivo flutuante para aplicação no alto mar. O seu princípio de funcionamento baseia-se na acumulação de água num reservatório sobrelevado relativamente ao nível médio da superfície livre do mar. A água acumulada é devolvida ao mar através de turbinas hidráulicas Kaplan de baixa queda, que accionam geradores eléctricos de fabrico comum. A acumulação da água no reservatório sobrelevado produz-se através do galgamento de uma rampa inclinada pela onda. Para aumentar o desnível de galgamento, existem dois reflectores parabólicos colocados a montante da rampa que nela concentram a onda incidente. Para além da estrutura metálica, que inclui os dois concentradores parabólicos, este sistema requer as turbinas Kaplan, os geradores eléctricos, os sistemas de aquisição e controlo, os sistemas auxiliares e o sistema de amarração. Todas estas peças são de fabrico acessível à indústria nacional. Desde Maio de 2003 que uma central piloto de 20 kW de potência máxima está a funcionar em Nissum Bredning/Dinamarca, uma zona marítima protegida no mar do Norte, a uma profundidade de 6 m. A estrutura deste dispositivo tem um peso absoluto de 260 toneladas, o reservatório tem as dimensões de 26 m x 17 m x 3,6 m e uma capacidade de 55 m³ e a boca do dispositivo à entrada dos concentradores parabólicos (envergadura) é de 58 m.

Para as condições de agitação no Atlântico seria necessário um sistema 5 vezes maior. Esse dispositivo, a instalar em águas de profundidade superior a 20 metros, teria uma potência instalada de cerca de 3-4 MW e possuiria as seguintes características: estrutura em aço/betão com um peso total de 22000 toneladas, envergadura total de cerca de 260 m, reservatório com capacidade de 5000 m³ (120 m x 50 m x 16 m), 16 turbinas Kaplan. A produção anual esperada de uma central com estas características seria na ordem dos 12 GWh, (Falcão et al., 2004).



Figura 15 – Wave Dragon – Central piloto no local de teste em Nissum Bredning, Dinamarca, (Wave Dragon, 2005).

2.2.1.3. Pelamis

O Pelamis, Figura 16, é uma estrutura semi-submersa composta por vários cilindros horizontais, ligados entre si por articulações e disposto segundo a direcção de incidência das ondas. O movimento das articulações provocado pela ondulação é resistido por cilindros hidráulicos que bombeiam óleo em alta pressão para motores hidráulicos. Os motores hidráulicos accionam geradores eléctricos, sendo a electricidade produzida por todas as articulações transportada num único cabo umbilical para um ponto de ligação no fundo. O sistema de amarração do dispositivo consiste numa combinação de flutuadores e pesos, evitando tensões excessivas nos cabos de amarração, mas permitindo a orientação dinâmica do dispositivo em relação à frente de onda. A instalação do dispositivo é relativamente independente da profundidade de água e das condições geomorfológicas do fundo. Tal como o Wave Dragon este dispositivo foi desenvolvido com base na utilização de tecnologias existentes (sistema de amarração, sistema hidráulico, gerador e cabos eléctricos). A estrutura e a

generalidade dos equipamentos referidos podem ser fornecidos em Portugal, embora, como nas outras tecnologias, haja componentes que não haverá interesse em produzir em Portugal, tal como os cabos eléctricos e alguns componentes hidráulicos.



Figura 16 – Protótipo do Pelamis WEC (*Wave Energy Converter*) conversor de energia das ondas instalado na costa escocesa em Orkney, (Symscape, 2007).

O protótipo construído e actualmente testado em Orkney/Escócia tem um comprimento de 120 m, é composto por 3 secções cilíndricas, com diâmetro de 3,5 m e disponibiliza uma potência máxima de $3 \times 250 \text{ kW} = 750 \text{ kW}$. Cada secção contém um módulo completo de geração de energia eléctrica. Independentemente das características do local da instalação, a OPD (Observatório do Pico dos Dias) prevê uma produção média até cerca de 40% da potência instalada (isto é, até 3500 horas equivalentes de funcionamento à potência nominal), (Falcão et al., 2004).

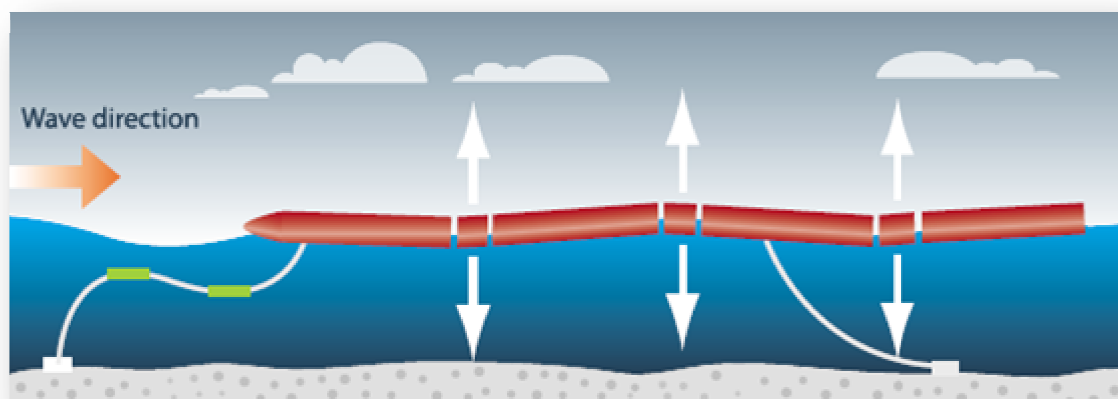


Figura 17 – Princípio do funcionamento de um Pelamis WEC, (Sweco Grøner, 2006).

2.2.1.4. Archimedes Wave Swing (AWS)

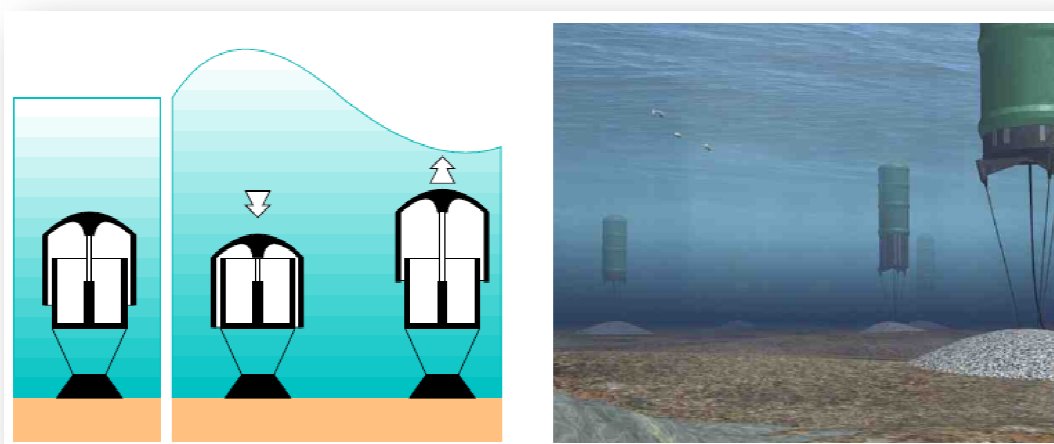


Figura 18 – Esquema de funcionamento do sistema AWS (esq.) e antevizão do dispositivo da próxima geração, (AWS, 2004).

O AWS é um dispositivo cilíndrico de absorção pontual, completamente submerso com um corpo superior oco (flutuador) que oscila verticalmente sobre uma base fixa também oca. O interior dos dois corpos é preenchido por ar sob pressão, de tal forma que, na ausência de ondas, a pressão do ar interior produz uma força ascendente sobre o flutuador que equilibra o seu peso e a força resultante da pressão hidrostática produzida pela água exterior. Durante a passagem de uma onda, a pressão exterior oscila em torno da pressão hidrostática, provocando a oscilação vertical do flutuador sobre a base num processo em que o ar interior actua como mola pneumática, produzindo uma força vertical de restituição. Há um equilíbrio entre a pressão interior, a massa do flutuador e a pressão hidrostática exterior, que não é atingido plenamente no caso da central piloto devido ao seu reduzido diâmetro de 9 metros. Este equilíbrio resulta da necessidade de evitar que a água exterior entre para o interior do flutuador e da base e, inversamente, que o ar interior se escape para o exterior. A mola pneumática e a massa do flutuador, são projectadas para estar em ressonância com a frequência dominante das ondas incidentes e dentro de limites podem ser ajustadas dinamicamente. O movimento entre o flutuador e a base é utilizado para actuar um gerador de indução linear que liga estas duas partes do AWS, desta forma convertendo directamente a energia mecânica contida neste movimento em energia eléctrica, (Falcão et al., 2004).

O dispositivo AWS relativamente a outros dispositivos apresenta a vantagem de ser completamente submerso, eliminando desta forma possíveis impactes visuais e, por outro lado, evitando a acção destruidora das ondas junto à superfície em mar tempestuoso.

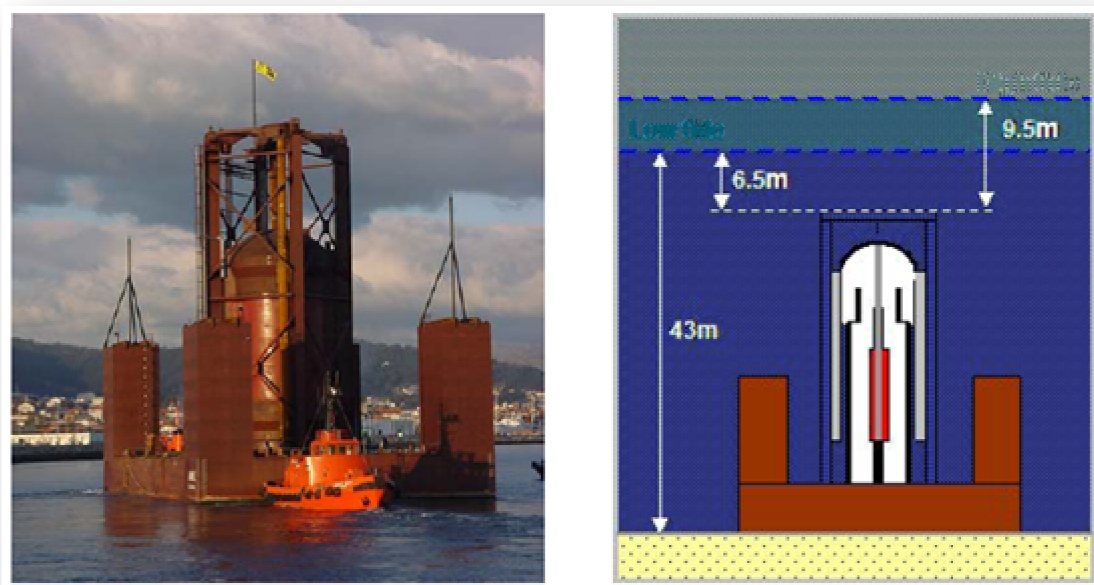


Figura 19 – Central piloto AWS rebocada do porto de Viana do Castelo (esq.) e posição esquemática (dir), (AWS, 2004).

Foi há 4 anos instalada uma central piloto de 2 MW ao largo de Póvoa de Varzim (de 6 km da costa, a 43 m de profundidade). A Figura 19 ilustra a sua estrutura, em aço, que foi construída na Roménia e rebocada para montagem final em Viana do Castelo. Esta central, projectada para realização de testes, foi construída sobre uma barça com mecanismos de submersão e emersão para facilitar as operações de manutenção. Esta solução construtiva não será seguida nas unidades à escala 1:1. A submersão da central piloto foi muito mais complexa do que inicialmente se previa, tendo sido desenvolvido, após duas tentativas falhadas, um novo sistema de submersão, com base numa simulação matemática rigorosa do processo, que permitiu efectuar com sucesso a submersão do dispositivo em Maio de 2004.

O dispositivo final a desenvolver será ancorado no fundo, sem pontão e terá uma potência máxima de cerca de 9,5 MW e um diâmetro do cilindro exterior de cerca de 12 m (AWS, 2004). Note-se que esta é a potência máxima instantânea, enquanto a potência média num ciclo de onda é de cerca de metade, (Falcão et al., 2004).

O AWS está a ser analisado pelo *Carbon Thrust Marine Energy Challenge* tendo em vista o estabelecimento de um acordo de cooperação semelhante ao que está ser desenvolvido para os outros sistemas de conversão energética referidos neste texto.

2.2.1.5. AquaBuOY

O AquaBuOY é um dispositivo do tipo de absorção pontual que está a ser desenvolvido pela *AquaEnergy Group, Ltd.* É baseado em duas tecnologias precedentes: o dispositivo de absorção pontual desenvolvido pela empresa *Interproject Service* (IPS) e o dispositivo designado por “*Hose-pump*” desenvolvido pela *Technocean*, ambas empresas suecas.

O sistema IPS Buoy é uma bóia circular, fixa por uma amarração flexível permitindo o seu movimento vertical, com um longo tubo vertical sob a bóia, designado por tubo de aceleração. A massa de água amortecedora contida no tubo de aceleração actua como corpo de referência do movimento. O movimento relativo entre a bóia e a massa de água amortecedora é transferido, por um cilindro no tubo de aceleração, para um sub-sistema de conversão localizado no corpo do flutuador. No dispositivo ‘*Hose-pump*’ o tubo rígido é substituído por uma conduta de material flexível (geotextil, borracha), dispensando o uso do cilindro, sendo a bombagem de água sob pressão provocada pela extensão e compressão periódica da conduta flexível.

O sistema de conversão previsto para o protótipo Aquabuoy é uma turbina Pelton, que ainda não foi utilizada por outros dispositivos. Relativamente a este dispositivo não existem muitos detalhes publicados sobre o seu modo de funcionamento.

Em 2003 foi assinado um contrato de compra para a energia eléctrica proveniente de um sistema Aquabuoy em Port Angeles, no estado de Washington. O parque demonstrador consiste em 4 dispositivos que foram em teoria instalados em Makah Bay, 5 km afastado da costa, durante o Verão de 2004, com uma capacidade instalada de 4 x 250 kW, (Falcão et al., 2004).

À semelhança do Wave Dragon e Pelamis, o AquaBuOY foi um dos oito dispositivos aos quais foram atribuídos contractos no âmbito do programa do *Carbon Trust “Marine Energy Challenge”*, criado com participação do governo americano, com o objectivo de apoiar projectos escolhidos em estados de desenvolvimento distintos (entre conceito inicial e protótipo existente).

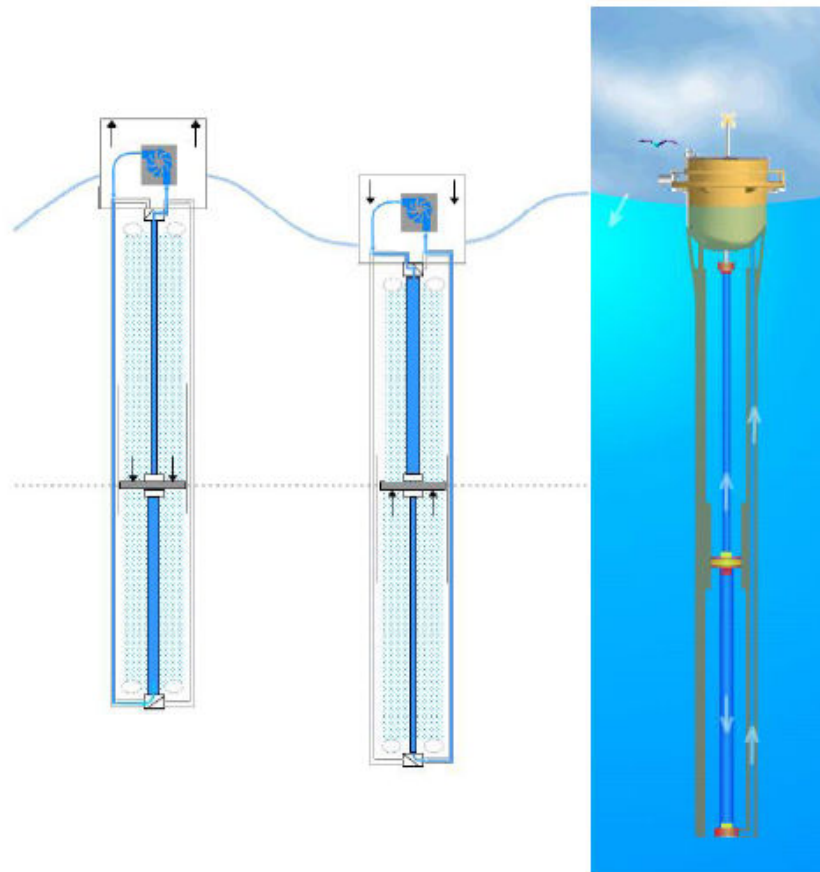


Figura 20 – Princípio de funcionamento do AquaBuOY, (AquaEnergy, 2006).

2.2.1.6. OPT ‘Power Buoy’

O dispositivo ‘PowerBuoy’, comercializado pela companhia Norte-americana OPT (*Ocean Power Technology*), é constituído por uma bóia submersa a cerca de 1 m da superfície da água, com uma estrutura cilíndrica para aproveitar o movimento induzido pelas ondas. Esta bóia está fixa ao fundo

do mar onde se encontra instalado o gerador eléctrico. A bóia é equipada com sensores para a monitorização contínua de rendimento dos sub-sistemas e do ambiente marítimo na vizinhança. O sistema é automaticamente desligado no caso de agitações extraordinárias, e volta a ser ligado automaticamente depois das condições voltarem à normalidade.

Embora não sendo conhecidos detalhes técnicos sobre o dispositivo ou resultados de testes, a empresa tem conseguido passos importantes na sua comercialização, tendo recebido financiamento da *US Navy* para um projecto no Hawaii, que decorre actualmente.

Em Março de 2004, a companhia de distribuição de electricidade espanhola Iberdrola assinou um contrato com a OPT para realizar um projecto piloto no Mar Cantábrico, entre Santander e Bilbao. O projecto consiste em 10 bóias PowerBuoy, instalados cerca de 800 m afastadas da costa, com uma potência instalada inicial de 1,25 MW, estando previsto na altura que aumentaria até 100 MW em 2006, (Falcão et al., 2004).

2.2.2. Comparação com outras tecnologias energéticas

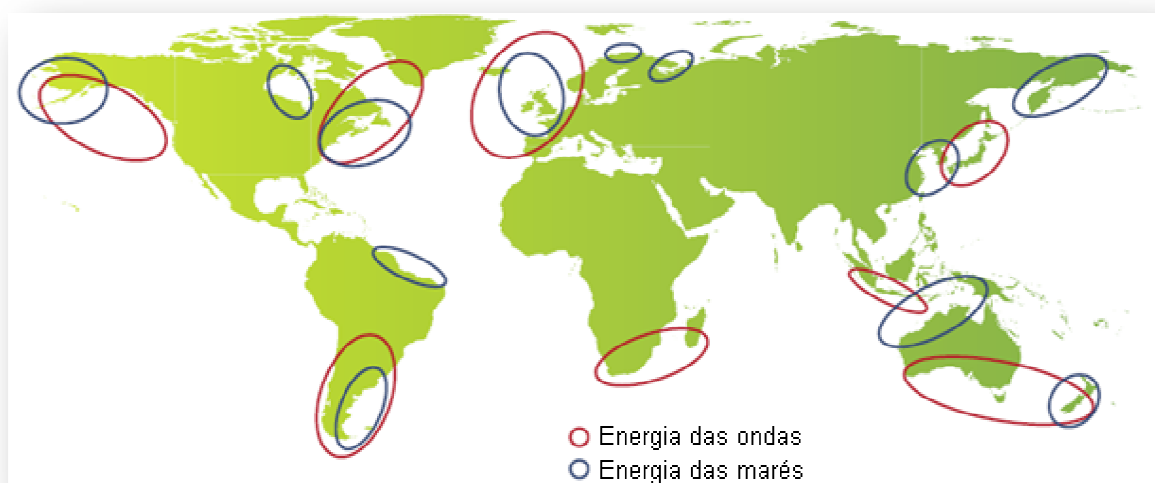
A conversão de energia a partir das ondas apresenta claras semelhanças com a eólica. Dado que as ondas são produzidas pela acção do vento, os dois recursos apresentam idêntica irregularidade e variação sazonal. Em ambos os casos extrai-se energia dum meio fluido em movimento e de extensão praticamente ilimitada.

A natureza ondulatória do mar (em comparação com o simples movimento de velocidade mais ou menos constante do vento) está na origem da maior complexidade de concepção de sistemas de conversão. Em compensação o recurso energético das ondas apresenta maior concentração espacial (numa camada de algumas dezenas de metros abaixo da superfície) do que a energia eólica. Em ambos os casos, os sistemas de aproveitamento são modulares, com potências instaladas por unidade previsivelmente inferiores à dezena de megawatts.

A maior complexidade dos sistemas de conversão e a maior agressividade do meio explicam o atraso da tecnologia das ondas em relação à eólica. Por outro lado, enquanto que no vento se convergiu para uma tecnologia bem definida (turbina de eixo horizontal), nas ondas a tecnologia tem-se dispersado por diversas concepções, o que também traduz uma realidade física mais variada (sistemas costeiros e *offshore*), (Falcão et al., 2004).

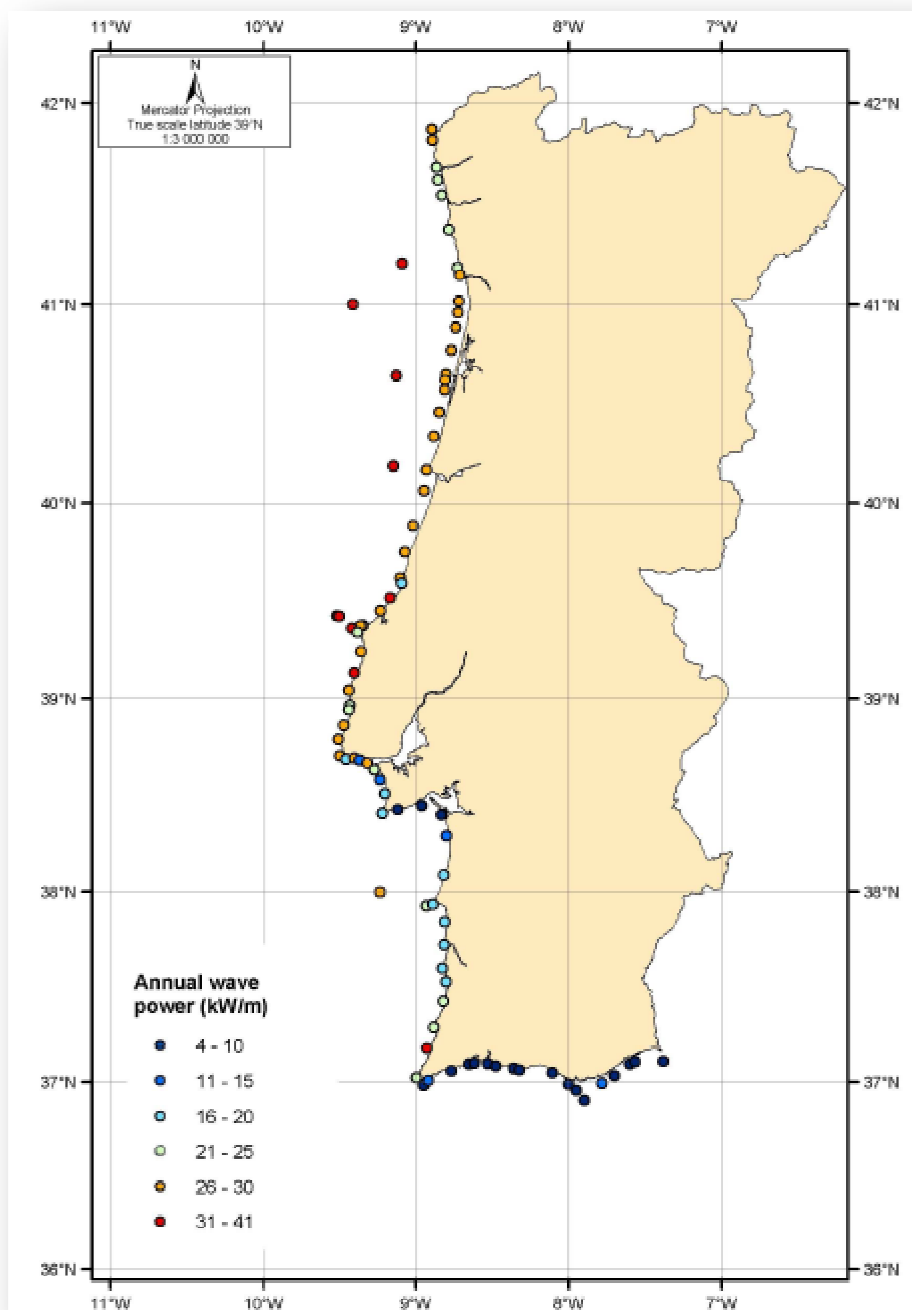
2.2.3. Aproveitamento da energia das ondas em Portugal

Como já foi mencionado, Portugal tem condições naturais entre as mais favoráveis relativamente a qualquer parte do mundo para o aproveitamento da energia das ondas: recurso abundante com cerca de 25-30 kW/m média anual, plataforma continental estreita (inexistente nos Açores) ou seja, águas profundas na proximidade da costa, consumo e rede eléctrica concentrados junto à costa do continente. A energia que chega à costa ocidental (500 km) é de cerca de 120 TWh/ano em águas profundas. A conversão de apenas 1% desta energia em energia útil, substancialmente aquém do que é tecnicamente viável, produziria 1,2 TWh/ano, o que para um factor de carga de 0,25 corresponderia a uma potência instalada de 550 MW. A contribuição dominante seria naturalmente de sistemas *offshore*, (Falcão et al., 2004).

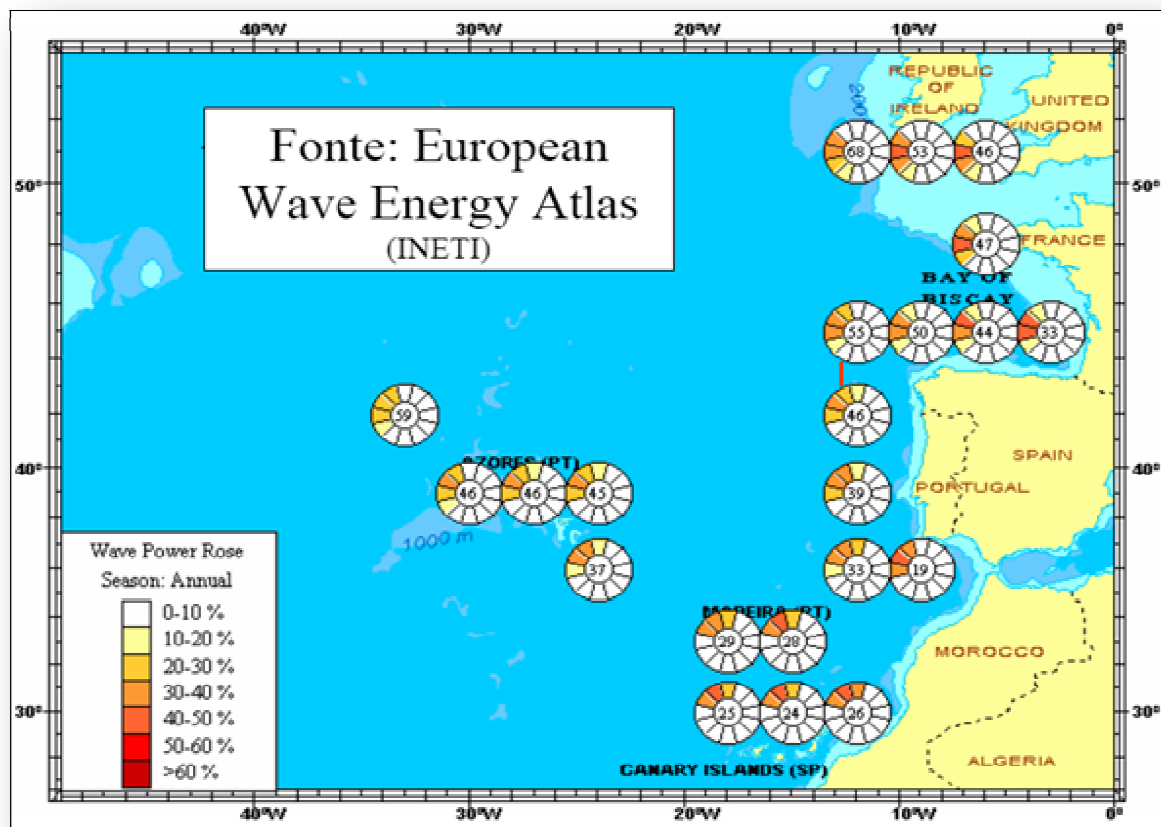


Mapa 8 - Locais propícios ao aproveitamento de ondas e marés, (Sweco Grøner, 2006).

Como se pode verificar através do Mapa 8, Portugal é um dos locais indicados como propícios a este tipo de aproveitamento. Relativamente ao aproveitamento através de marés não se pode concluir o mesmo, mas esse assunto irá ser abordado mais adiante.



Mapa 9 – Potência anual das ondas (kW/m) da costa portuguesa. Os valores dos 78 pontos costeiros foram determinados para 20m ou menos de profundidade de mar, os pontos *offshore* a 100m e os 2 em alto mar a 600m, (Pontes et al, 2005).



Mapa 10 – Mapa da potência média das ondas, (Falcão, 2005).

Em termos de investimento e desenvolvimento, Portugal é um dos países pioneiros (actividade desde a década de setenta) e com maior impacto (por exemplo em termos número de publicações e de participação e coordenação de projectos europeus). Dos três grandes projectos europeus actuais com construção de protótipos, liderou um (ilha Pico) e participou nos outros dois. Portugal liderou a elaboração do *Atlas Europeu de Energia das Ondas*, referente ao recurso em águas profundas (*offshore*), estando em fase de finalização o *Atlas Nacional de Ondas* que descreve o recurso junto à costa do continente, (Falcão et al., 2004).

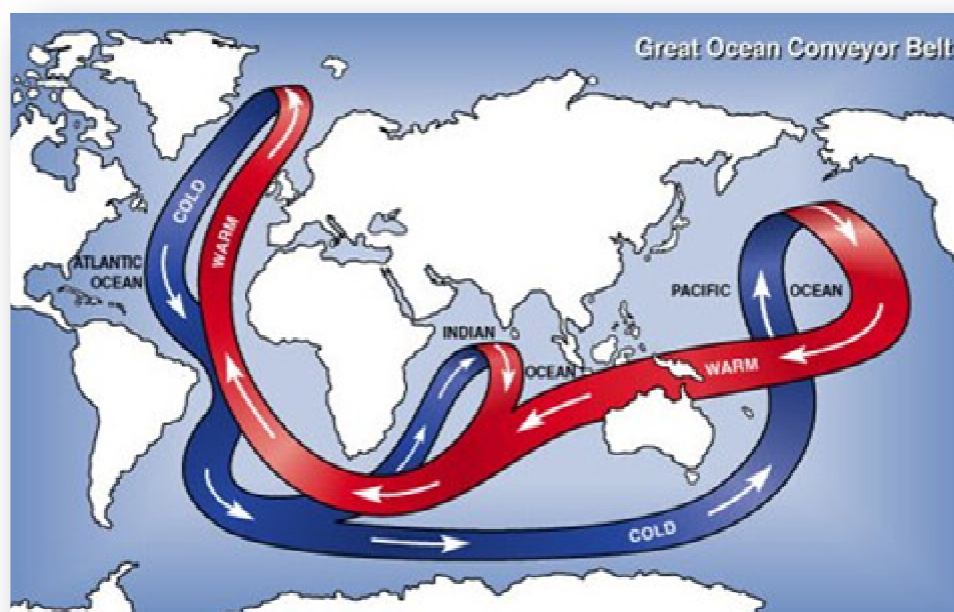
A actividade e capacidade de investimento e desenvolvimento e a competência específica nesta área estão essencialmente concentrados no Instituto Superior Técnico e no INETI. O projecto do Pico permitiu às empresas nele participantes adquirir experiência neste domínio: EDP, EDA, EFACEC,

Profabril. Para além destas instituições, e numa perspectiva mais lata, existe substancial capacidade técnica em Portugal na área do mar, nomeadamente engenharia costeira, portuária e naval. A engenharia *offshore* é uma área de menor capacidade nacional (em comparação com alguns países do norte da Europa).

É de notar que se localizam em Portugal dois dos três protótipos recentemente construídos na Europa, (Falcão et al., 2004).

2.3. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das correntes

São essencialmente devidas à acção das marés, e atingem velocidades relativamente elevadas (até cerca de 2 m/s em média) em zonas confinadas (em grande parte dos casos em estreitos confinados por ilhas). Tem vindo a despertar interesse crescente na Europa (protótipos financiados pela Comissão Europeia), em especial no Reino Unido e Itália. A tecnologia tem semelhanças com a das turbinas eólicas. O aproveitamento das correntes marítimas é realizado por via de turbinas localizadas em locais, onde aquelas são particularmente fortes. No entanto a quantidade de energia que se poderia aproveitar é incerta. Por exemplo, uma recente reportagem coloca o potencial Britânico a 2,5 TWh por ano, ou seja, o equivalente a cerca de 300 MW, (Trainer, 2007).



Mapa 11 – Mapa generalista das correntes oceânicas, (NASA, 2004).

2.3.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia das correntes

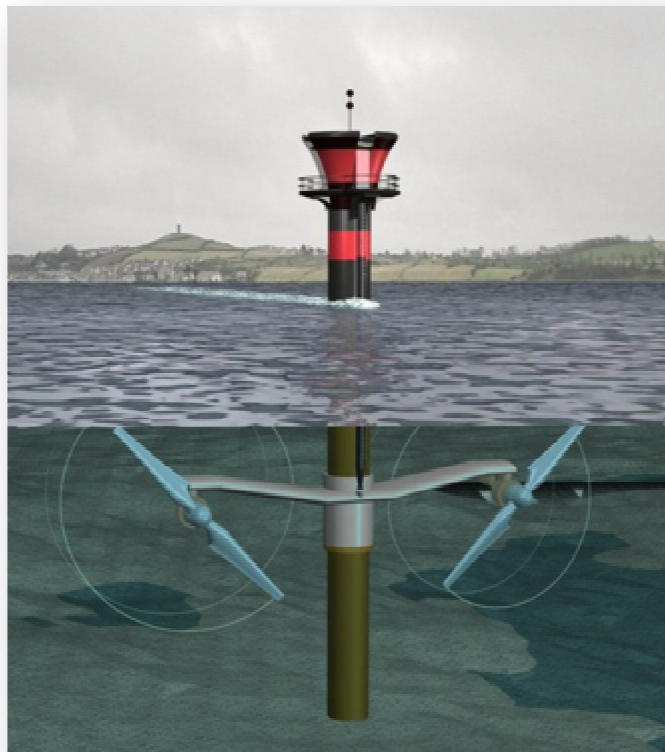


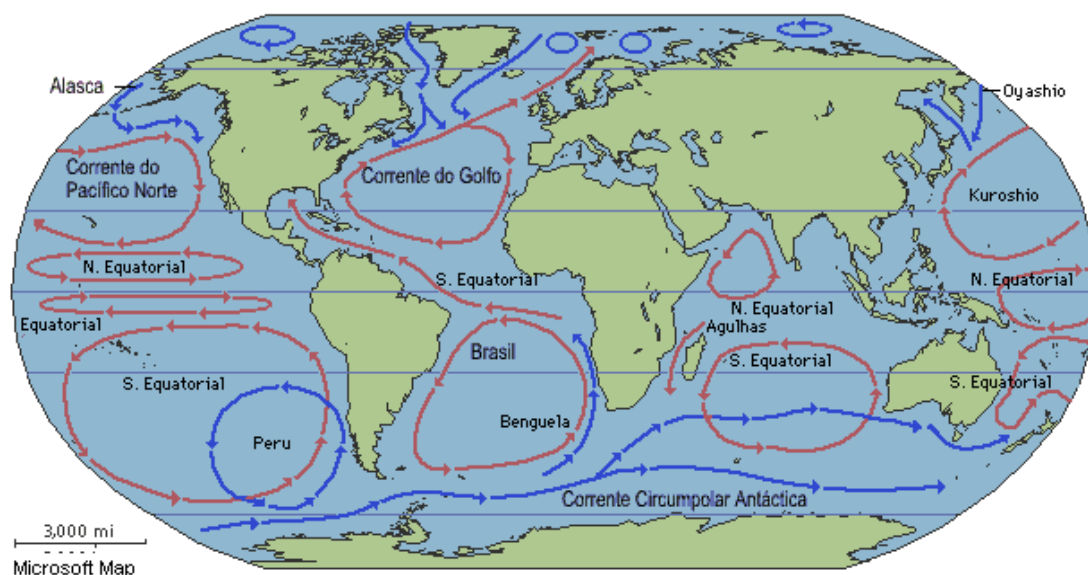
Figura 22 – Aproveitamento da energia de correntes, (Medeiros, 2007).

Como ilustra a Figura 22, este aproveitamento baseia-se na velocidade das correntes oceânicas, que ao passar entre as pás de uma turbina com esta ligada a um gerador, transforma a energia cinética em energia eléctrica.

2.3.2. Aproveitamento da energia das correntes em Portugal

Em Portugal, o recurso potencialmente utilizável é relativamente pequeno: apenas ocorrem velocidades minimamente interessantes em estuários, onde o aproveitamento desta energia pode ser ambientalmente sensível. No entanto ao analisarmos o Mapa 12, parece justificar-se fazer um estudo exploratório em

Portugal relativo a esta fonte renovável de energia, visto também estarmos relativamente perto da corrente do Golfo, de todo o modo não foi possível encontrar quaisquer tipo de dados referentes a esse aproveitamento na ZEE portuguesa.



Mapa 12– Mapa das correntes oceânicas, (Nunes, 2008).

2.4. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das marés

Há uma vasta quantidade de energia neste recurso, mas isso não é sinónimo de que se conseguirá obter essa energia a um preço razoável. É uma tecnologia convencional, associada aos aproveitamentos hidroeléctricos de baixa queda e à construção de protecções costeiras e portuárias.



Figura 23. - Estação de energia de marés no rio Rance, perto de Saint-Malo, França, (Carvalho et al., 2000).

Grandes quantidades de água terão que se deslocar através de pequenas aberturas. Nos dias que decorrem há importantes e consideráveis limites ecológicos a considerar relativamente aos estuários. Heinberg (2003) diz que só 24 locais no mundo são óptimos para a instalação de centrais talasso-eléctricas, na sua maioria são locais muito remotos. “É muito improvável fazer uma significativa contribuição para o aumento das provisões de energia”, segundo o mesmo autor, (Heinberg, 2003).

A Figura 23 ilustra a chamada longa barragem de Range de 740 metros. Foi construída entre 1961 e 1967, daí que este tipo de aproveitamento já seja praticado há vários anos. É constituída por 24 turbinas reversíveis, ou seja de dois sentidos, com potência de 10 MW cada, que operam com marés na gama dos 12 metros, com aproveitamento da diferença de 5 metros. Esta barragem até 1975 chegou a produzir aproximadamente 480 GWh por ano, com uma disponibilidade típica de produção, na maioria do tempo de utilização, de 90%, (Boyle, 2000).

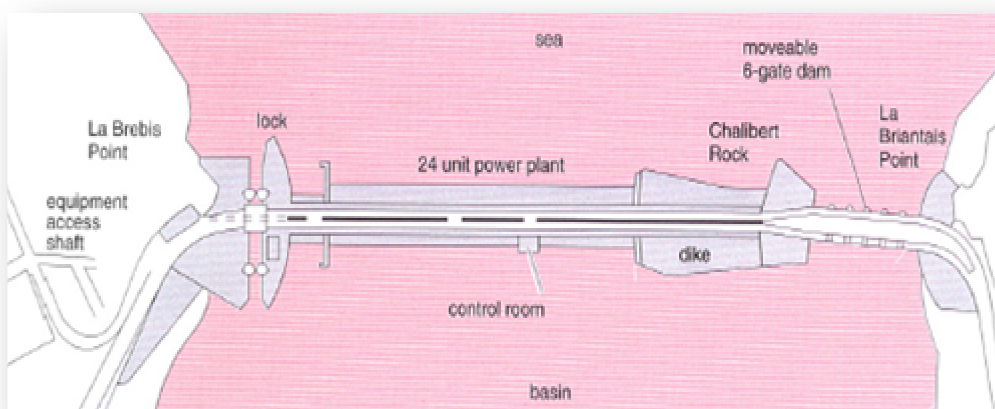
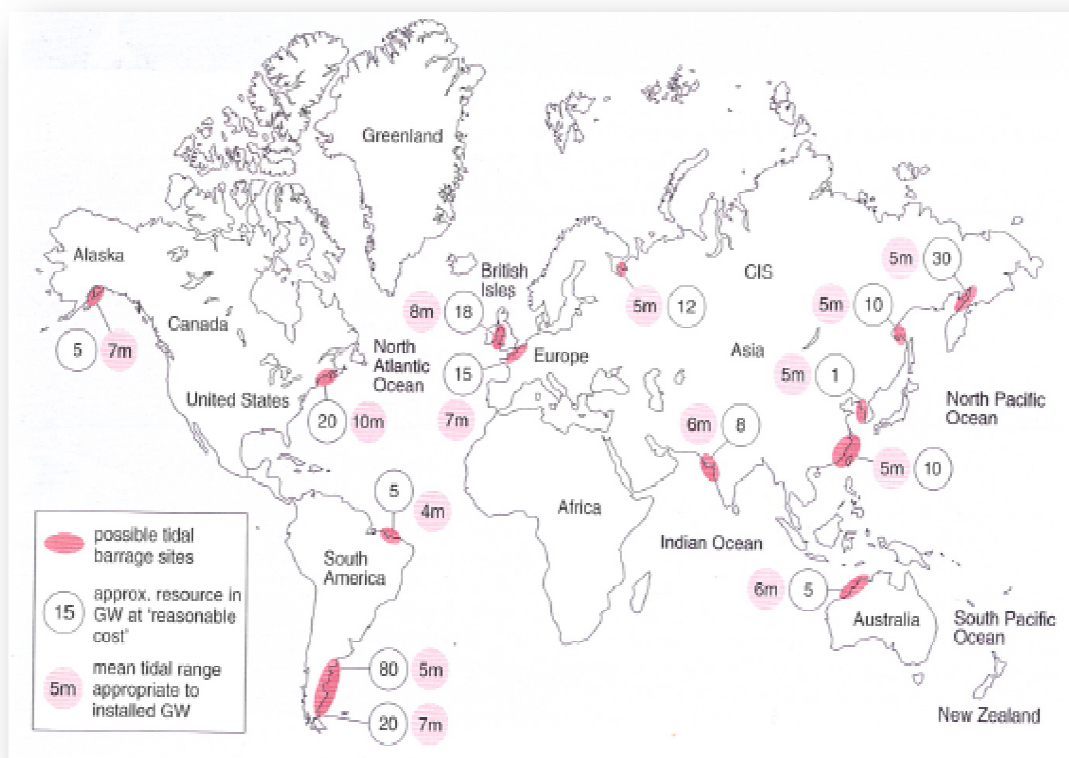


Figura 24 – Esquema da barragem de Range, vista de cima, (Boyle, 2000).

O Conselho Mundial de Energia estimou 22.000 TWh como sendo a quantidade anual de energia não aproveitada produzida pelo movimento das marés. Deste mesmo valor, cerca de 200 TWh ($\pm 1\%$) é considerada recuperável. Na realidade menos de 0,6 TWh é convertido em electricidade, (Fanchi, 2004).

O interesse por este tipo de fonte renovável de energia surgiu a partir dos anos 60 e alguns países identificaram locais onde a construção de estações de produção de energia eléctrica através de marés seria possível. No entanto, na maioria dos casos os projectos apresentados foram dados como demasiado dispendiosos para construir.

Entre 1983 e 1994 no Reino Unido, foi realizado um dos maiores projectos de pesquisa sobre o potencial das marés. Este projecto examinou uma gama de possíveis esquemas em Inglaterra e no País de Gales, concluindo que se em todos os estuários existisse uma gama de valores de amplitudes de marés com mais de 3,5m, se conseguiria obter aproximadamente 50 TWh/ano de energia eléctrica, através deste aproveitamento, representando cerca de 20% do consumo energético de Inglaterra e País de Gales a meio dos anos 90. A melhor exploração de Inglaterra situa-se no estuário de Severn onde a amplitude entre marés é próxima de 11m, (Fanchi, 2004). É constituída por 72 turbinas com um total de 804 MW de potência instalada, (Boyle, 2000).



Mapa 13 – Localização de possíveis locais propícios para construção de barragens de marés, (Boyle, 2000).

2.4.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia das marés

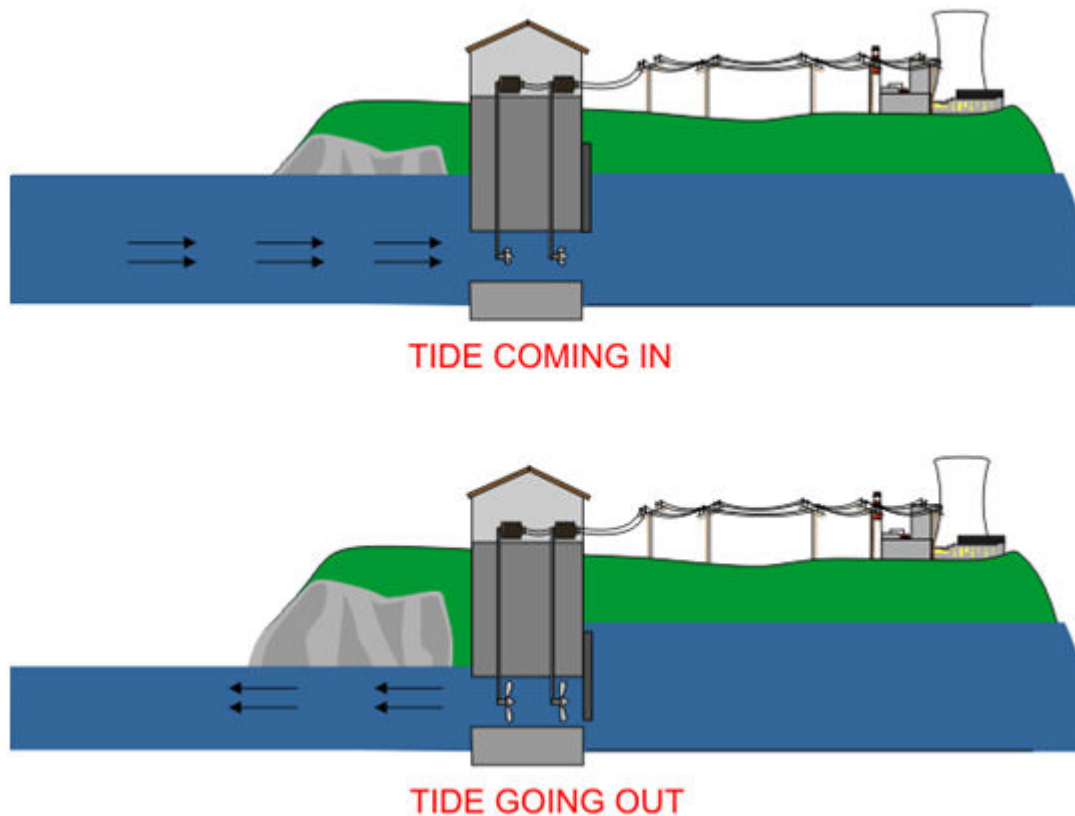


Figura 25 – Princípio de funcionamento de uma estação de energia de marés, (Ryan, 2005).

Como se pode verificar na Figura 25 as barragens de marés são mais viáveis de construir em estuários onde o efeito das mesmas se faça sentir, ou seja amplitude de marés superior a 5 metros. Deste modo, as barragens captam a energia produzida pelo subir e descer das marés usando para esse efeito, turbinas submersas na água. A profundidade a que estas se encontram varia consoante a altura das marés. A energia potencial devida à diferença entre os níveis de água antes e depois da barragem é convertida em energia cinética, devido à passagem da água pelas pás das turbinas, que accionam um gerador produzindo electricidade, (Boyle, 2000).

2.4.2. Aproveitamento da energia das marés em Portugal

A inexistência de condições naturais favoráveis (amplitudes de marés superiores a cerca de 5 metros) torna esta tecnologia pouco interessante em Portugal. Analisando o Mapa 13 em conjunto com o Mapa 8, verifica-se essa mesma inexistência, portanto não fará sentido tentar explorar este tipo de aproveitamento na ZEE portuguesa.

2.5. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia do diferencial térmico oceânico (*Ocean Thermal Energy Conversion* ou OTEC)

A energia de um aproveitamento do diferencial térmico oceânico pode ser extraída em águas tropicais utilizando a diferença entre a temperatura superficial da água, normalmente, 25 °C e a água fria a uma profundidade de 1000 metros, que normalmente se encontra a 5 °C. Esta diferença deverá manter-se durante todo o ano, para que esta fonte seja rentável. A longo prazo esta energia poderá produzir 0,04 W/m, mas provavelmente, esta tecnologia, não será comercializada antes do ano 2020, (Sweco Grøner, 2007).

2.5.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia por diferencial térmico oceânico

Esta proposta envolve a exploração do diferencial sensível de temperatura entre a superfície e o fundo do mar, por via de condutas de 30 metros de diâmetro. O rendimento energético deste método é muito baixo e só é aplicável em zonas cujo diferencial térmico é relevante. Esta tecnologia envolve também uma série de problemas ecológicos dado que move grandes quantidades de água fria e nutrientes do fundo do mar para a superfície, (Trainer, 2007).

2.5.1.1. Sistema OTEC em ciclo fechado

Os sistemas OTEC em ciclo fechado utilizam um fluido com baixo ponto de ebulição, tal como a amónia (NH₃), para activar a turbina gerando electricidade. A água quente da superfície do oceano é bombeada para um condensador, onde a o fluido de trabalho é evaporado, (EERE, 2005).

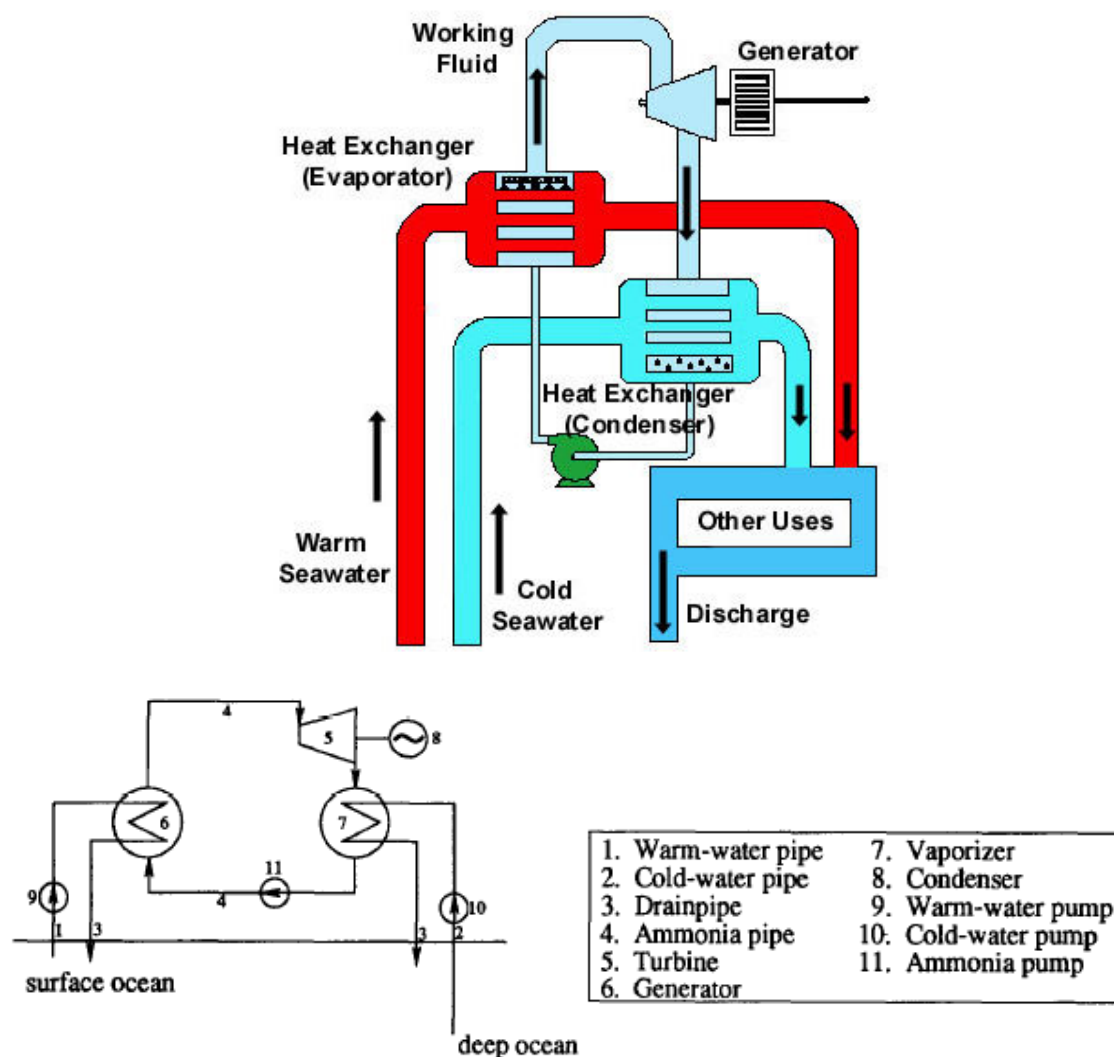


Figura 26. – Esquemas do sistema OTEC em ciclo fechado, utilizando amônia (NH_3) como fluido de trabalho, (UVI, 2005 e Tahara et al., 1995).

2.5.1.2. Sistema OTEC em ciclo aberto

Os sistemas OTEC em ciclo aberto utilizam a água quente da superfície para fazer electricidade. Quando a água quente da superfície é colocada num reservatório de baixa pressão, esta evapora. O vapor de água passando pela turbina acciona o gerador. Por sua vez a água fria da profundidade é utilizada para condensar, seguidamente, o vapor de água, que nesta fase é como água doce, dado que deixou para trás o sal no reservatório a baixa pressão, (EERE, 2005).

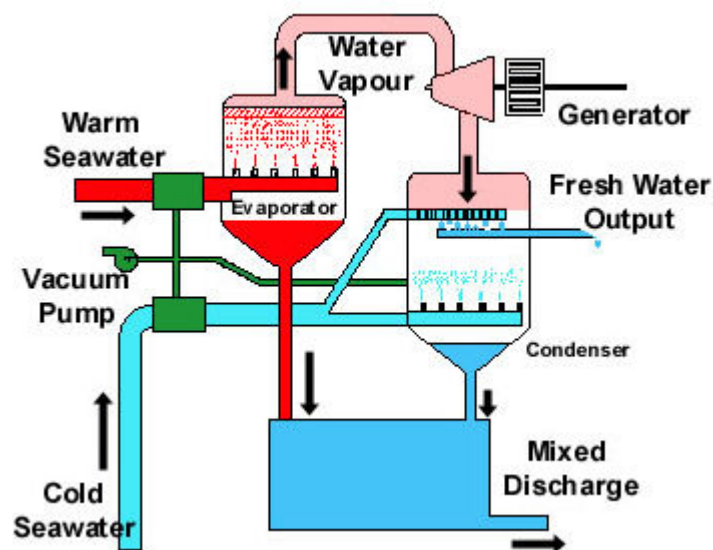


Figura 27 – Esquema do sistema OTEC em ciclo aberto, (UVI, 2005).

Uma grande vantagem desta técnica é o aproveitamento de outra técnica, a dessalinação, ou seja, transformar a água salgada em água doce potável. Teoricamente, uma estação OTEC de 2 MW pode produzir até 4.300 m³ de água doce por dia, (EERE, 2005).

2.6. Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia do gradiente salino (potencial osmótico)

Este tipo de aproveitamento visa explorar o diferencial salino existente entre o rio e o mar. Existe um valor teórico que indica que se consegue extrair aproximadamente 1 MW por cada m^3/s de água doce do rio, (Gerstandt et al., 2008; Jones et al., 2003 e Sweco Grøner, 2007). O gradiente salino existe onde o rio encontra o mar – foz ou estuário. Infelizmente a tecnologia necessária para tornar este aproveitamento comercializável encontra-se pelo menos a uns 5 a 10 anos.

A Figura 29 ilustra o trabalho estimado da mistura de 1m^3 de água pura com as diferentes concentrações de Cloreto de Sódio (NaCl) à temperatura ambiente.

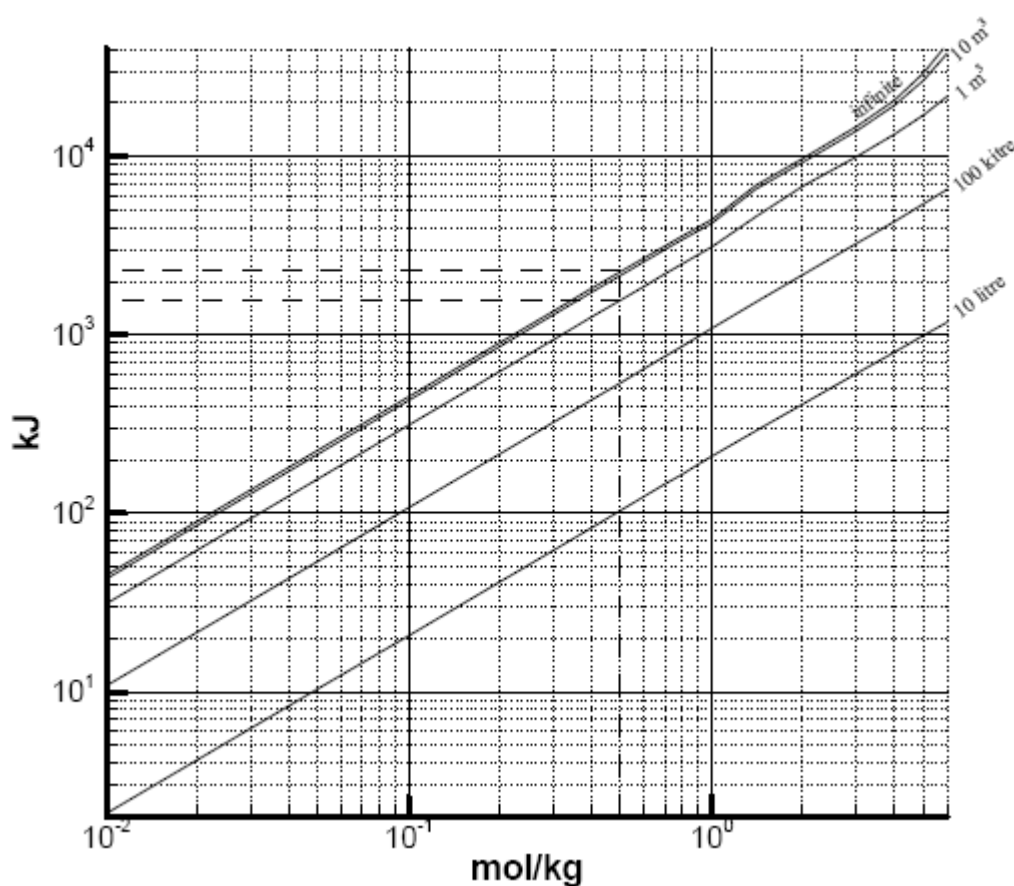


Figura 29 – Trabalho estimado da mistura de 1 m^3 de água pura com a variação de molalidade e volume de Cloreto de Sódio (NaCl) a $T=298,15\text{ K}$, (Seppälä, 2007).

2.6.1. Descrição e classificação dos sistemas de extracção da energia por gradiente salino

Quando se coloca uma membrana semi-permeável (membrana que retém os iões salinos mas permite o escoamento da água) entre dois reservatórios contendo água com diferentes gradientes salinos, verifica-se um fluxo líquido de água na direcção do lado com maior concentração salina, por osmose. Se houver um volume fixo no lado da água salgada atendendo à concentração salina neste lado a pressão da água salgada atingirá um máximo teórico de 26 bar ou seja 270 metros de coluna de água. Este fenómeno permite a concepção do sistema representado na

Figura 30. Nesse sistema cerca de 1/3 de água passa pela turbina e posteriormente gera electricidade. Os restantes 2/3 retornam através de um dispositivo de recuperação de pressão. Para otimizar o poder desta instalação, a pressão de operação terá que rondar os 11 a 15 bar, o que equivale a uma queda de 100 a 145 metros de uma estação de aproveitamento hidroeléctrico, (Skilhagen et al., 2008 e Statkraft, 2006). A Figura 31 ilustra o referido processo.

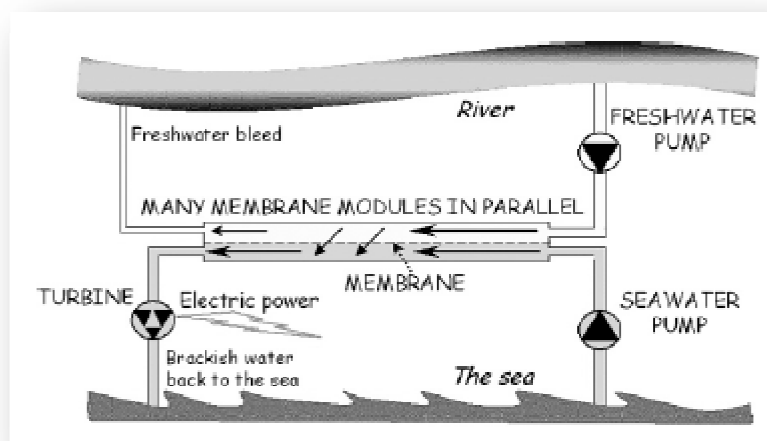


Figura 30 – Princípio do poder do potencial osmótico, (Skilhagen et al., 2007).

Apesar do fenómeno que este aproveitamento implica ser conhecido há centenas de anos e do potencial dos estuários existentes por todo o mundo, pouco se tem feito para desenvolver este tipo de tecnologia. No entanto há um valor teórico relativo a este aproveitamento que indica que cada m^3 de água doce que entra no mar gera 0,7 kWh de electricidade, (Sweco Grøner, 2007).

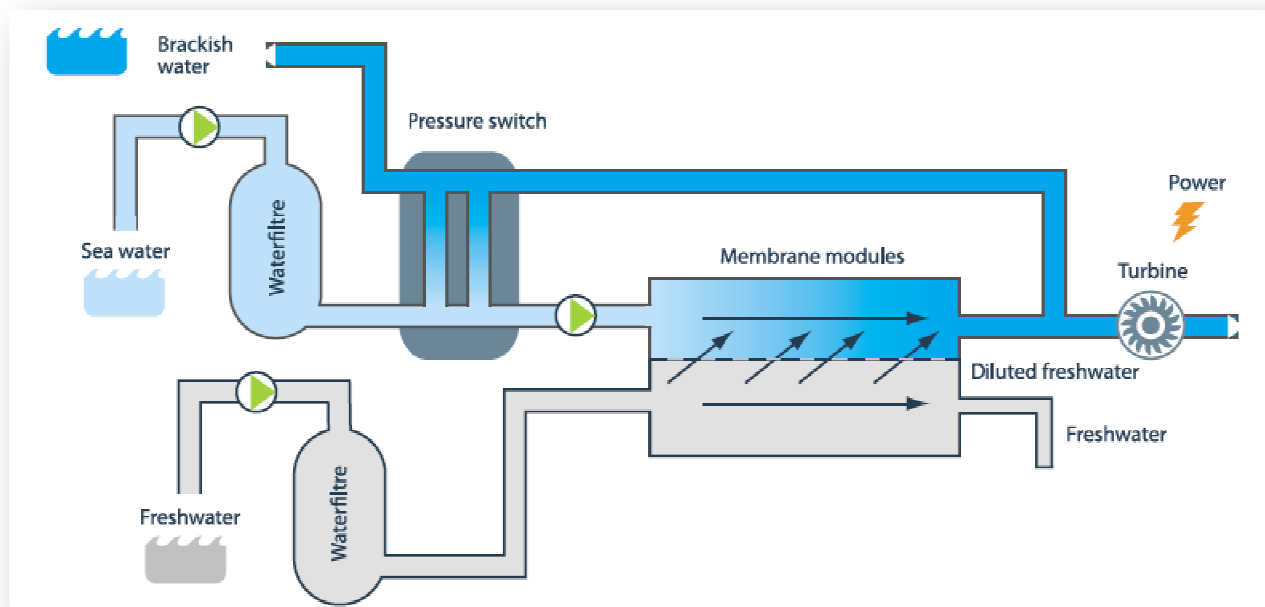


Figura 31 – Esquema do processo de aproveitamento do potencial osmótico, (Sweco Grøner, 2006).

Até aos dias de hoje ainda não se desenvolveu nenhuma membrana semi-permeável com resistência, durabilidade e rendimento aceitáveis para se submeter um teste piloto, mas muitos especialistas já conseguiram provar que a teoria funciona na prática. Esta forma de energia é flexível no que toca à localização e forma, do mesmo modo o investimento a realizar poderá ser reduzido, se combinado com instalações eléctricas ou infra-estruturas já existentes.

O desempenho de uma membrana típica terá que se situar num aproveitamento de 4 a 6 W/m^2 , sendo que, em consequência, cada MW requer cerca de 250.000 m^2 de membrana, (Gerstandt et al., 2008 e Statkraft, 2006).

A Statkraft, companhia norueguesa, encabeça presentemente o projecto mais desenvolvido nesta área, juntamente com a SINTEF. Estes estão envolvidos num extenso projecto de pesquisa e entre outras coisas já instalaram duas pequenas estações de aproveitamento por gradiente salino, uma localizada na costa da cidade de Sunndalsøra e outra nos laboratórios da SINTEF em Trondheim.

É esperado que por volta de 2010-2015 consigam desenvolver uma membrana semi-permeável suficientemente boa para comercializar, (Sweco Grøner, 2007).

O custo inicial destas instalações, será muito elevado, mesmo quando comparado com a energia eólica. No entanto, uma estação de aproveitamento de pressão osmótica será concebida para operar à máxima capacidade mais de 7000 horas por ano.

Experiências levadas a cabo na rede de tratamentos de água da Noruega, mostram que combinando filtrações mecânicas até 50 μm com um plano de limpeza e manutenção adequados, é suficiente para manter uma membrana em operação 7 a 10 anos. Esse é também o período de vida esperado para a estação em operação, (Gerstandt et al., 2008 e Statkraft, 2006).

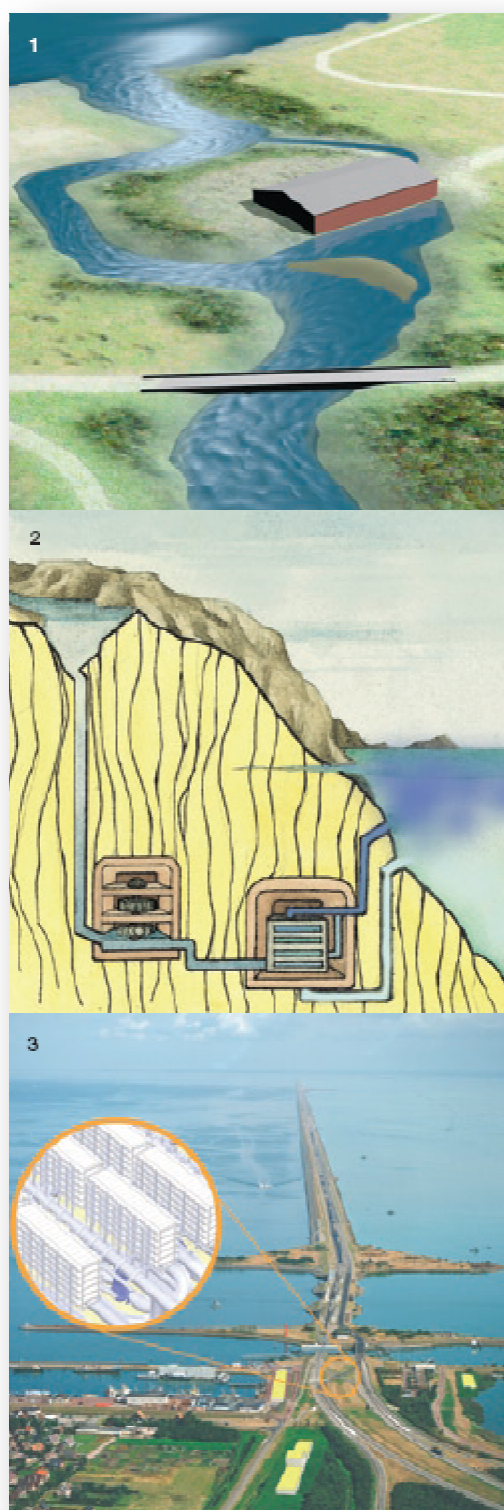


Figura 32 – Ilustrações de possíveis estações de aproveitamento do gradiente salino (1 e 3 – Estação ao nível do mar, 2 – Estação sub-marítima), (Statkraft, 2006).

2.6.2. Aproveitamento da energia do gradiente salino em Portugal



Figura 33 – Mapa de Portugal e os seus principais rios, (Guia Geográfico).

Como se pode verificar o aproveitamento de energia por gradiente salino é uma tecnologia em fase inicial de desenvolvimento, mas se bem sucedida poderá ser potencialmente importante.

Em Portugal existem 13 estuários (Sa, 2000) entre os quais figuram os seguintes:

Cidade	Rio	Caudal [m ³ /s]	Referência
Caminha	Rio Minho	294	INAG, 2008 e Sa, 2000
Viana do Castelo	Rio Lima	62	INAG, 2008
Esposende	Rio Cavado	66	INAG, 2008
Vila do Conde	Rio Ave	40	INAG, 2008
Porto	Rio Douro	465	INAG, 2008 e Sa, 2000
Mira	Ria de Aveiro	40	INAG, 2008
Figueira da Foz	Rio Mondego	79	INAG, 2008
Lisboa	Rio Tejo	400	INAG, 2008 e Sa, 2000
Setúbal	Rio Sado	40	INAG, 2008
Vila Real de Santo António	Rio Guadiana	62	INAG, 2008 e Sa, 2000

Tabela 3 – Valores de Caudal, médios anuais, em m³/s de alguns estuários de Portugal.

Consultando a Tabela 3, existem pelo menos três estuários (o estuário pertencente aos Rios; Minho, Douro e Tejo), com relativo potencial para o aproveitamento de energia do gradiente salino, dado o seu elevado caudal médio anual. O único problema que se coloca face a este aproveitamento é o tamanho da membrana semi-permeável, contudo, como iremos analisar no Capítulo 4, faz sentido apostar neste tipo de aproveitamento.

3. ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE ENERGIA

O Capítulo 3 pretende demonstrar ao leitor a dificuldade e eficiência do transporte de energia eléctrica resultante da transformação de energia de carácter transitório/aleatório proveniente de fontes renováveis de energia com uma curva de disponibilidade coincidente com a curva das necessidades energéticas da sociedade.

3.1. Armazenamento e fontes renováveis de energia

O desenvolvimento e uso das fontes renováveis de energia, tem vivido períodos de grande crescimento nos últimos anos. Nos próximos 20 – 30 anos toda e qualquer energia disponível terá que ser baseada na utilização racional das fontes tradicionais e terá que haver uma maior utilização das fontes renováveis de energia, (Ibrahim et al., 2008).

Como foi referido no Capítulo 1, a acumulação, conversão e transporte de energia eléctrica são alguns dos maiores problemas para as fontes renováveis de energia.

A transmissão de energia, é uma técnica, não só, usada para distribuir energia proveniente dos locais de geração (tal como dos locais das fontes renováveis de energia) para os locais dominantes de utilização de energia, mas também para gerir o desencontro entre o carácter transitório/aleatório da energia proveniente de fontes renováveis de energia, que normalmente é pouco coincidente com a curva da procura das necessidades energéticas, (Sørensen, 2007).

Hoje em dia a capacidade de armazenamento do mundo é de cerca de 90 GW de um total de 3400 GW de produção, ou seja, 2,6%, (Ibrahim et al., 2008). Verifica-se assim que se tem feito pouco uso do armazenamento de energia. No entanto essa perspectiva tem que mudar e nesse sentido apresentam-se seguidamente no Subcapítulo 3.2 algumas tecnologias em desenvolvimento cuja finalidade é armazenar energia proveniente de fontes renováveis de energia.

3.1.1. Transmissão de electricidade

Actualmente, a corrente eléctrica é transmitida maioritariamente através de uma rede, assim como a distribuição local é realizada através de fios condutores. A electricidade utilizada é designada por corrente alterna (CA),

mesmo quando as distâncias são de algumas centenas de quilómetros. Para transmissões a longas distâncias (por exemplo, cabos marítimos), a conversão de corrente contínua (CC) antes da transmissão e em CA depois da transmissão é comum. Os cabos, ou se encontram enterrados no solo (com isolamento eléctrico apropriado), ou estão suspensos no ar, seguros em postes, sem isolamento em volta dos cabos. Como o ar é baixo condutor eléctrico, este também é contabilizado, uma vez que implica que as perdas irão comprometer as perdas por condução dependendo do estado instantâneo do ar (condições atmosféricas).

As perdas médias, para diferentes condições meteorológicas, de um cabo transmissor suspenso no ar, que se encontre a 15 a 40 metros de altura, num estado normal CA, para uma tensão de 138 a 400 kV, são inferiores a 1% por cada 100 km de transmissão, mas as perdas de transmissão para um utilizador final localizam-se entre 12 a 15% da produção energética, para uma rede cuja área seja superior a 10^4 km^2 . Essas perdas baixam para 5 a 6% para os melhores sistemas instalados até hoje e é esperado que futuramente decresçam para 2 a 3 %, quando a tecnologia avançar. Estas perdas são calculadas relativamente ao total de energia produzido nas centrais eléctricas conectadas na mesma rede, (Sørensen, 2007).

A transmissão realizada por meio de cabos com isolamento enterrados no solo, é mais eficiente, uma vez que o isolamento é conseguido através de gás comprimido. Vários cabos trans-oceânicos (com mais de 1000 km) foram instalados na região da Escandinávia com vista a transmitir grandes quantidades de energia provenientes de estações hidroeléctricas para o continente europeu. As perdas através destas linhas de alta tensão (a cima dos 1000 kV) em CC encontram-se abaixo de 0,4% por cada 100 km, ao qual se deve adicionar 1 a 2% de perdas por transmissão quando se transforma a corrente de CA para CC ou vice-versa, (Sørensen, 2007).

3.2. Sistemas de armazenamento de energia

Um dos maiores problemas das fontes renováveis de energia é o facto de a sua produção ser de carácter intermitente, daí que grandes quantidades de energia têm que ser armazenadas se estas fontes começarem a ter um contributo significativo na produção energética total. Se fosse encontrada uma solução para o problema de armazenamento, a perspectiva para as fontes renováveis de energia eléctrica seriam consideravelmente avançadas. Por exemplo não haveria a preocupação sobre a variabilidade do vento, uma vez que se poderia armazenar electricidade aquando de bons ventos e a utilização do mesma aquando de ventos fracos, (Trainer, 2007).

Seguidamente terá lugar uma breve explicação de alguns dos principais tipos de armazenamento de energia que se encontram em exploração, alguns dos quais, bastante, promissores para as várias aplicações.

3.2.1. Armazenamento por rebombagem - Bombagem reversível

Por vezes, a simples e completa solução para superar as necessidades de energia eléctrica quando estas excedem a quantidade disponível, é a utilização da electricidade hidroeléctrica. A geração de electricidade via centrais hidroeléctricas reversíveis é considerada a mais flexível, capaz de gerar electricidade no seu potencial máximo em apenas alguns minutos, para este tipo de sistemas, foram reportados rendimentos na ordem do 60 a 80 %, (Ibrahim et al., 2008 e Sørensen, 2007).

O maior problema encontra-se na necessidade de duas albufeiras, uma a montante e outra a jusante do grupo turbo/bomba, (Trainer, 2007). Tal como ilustra a Figura 34, durante períodos de baixa necessidade energética, estas estações utilizam electricidade para bombear a água do reservatório situado a jusante para o situado a montante. Quando as necessidades energéticas são

elevadas, a água é libertada do reservatório a montante accionando assim as turbinas produzindo electricidade em horas de pico.

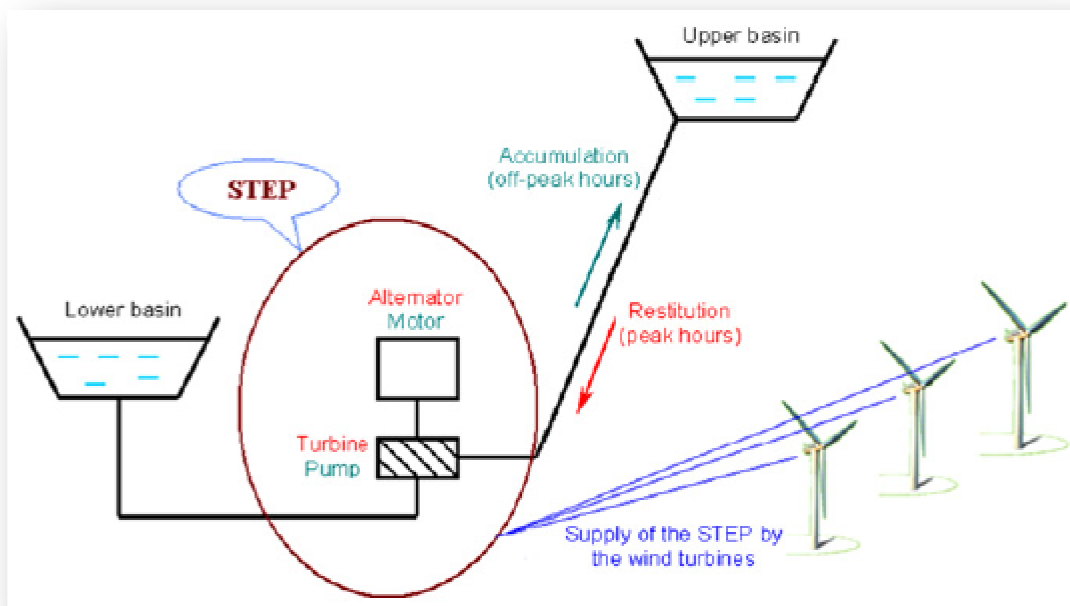


Figura 34 – Armazenamento por rebombagem, utilizando energia produzida por turbinas eólicas, (Ibrahim et al., 2008).

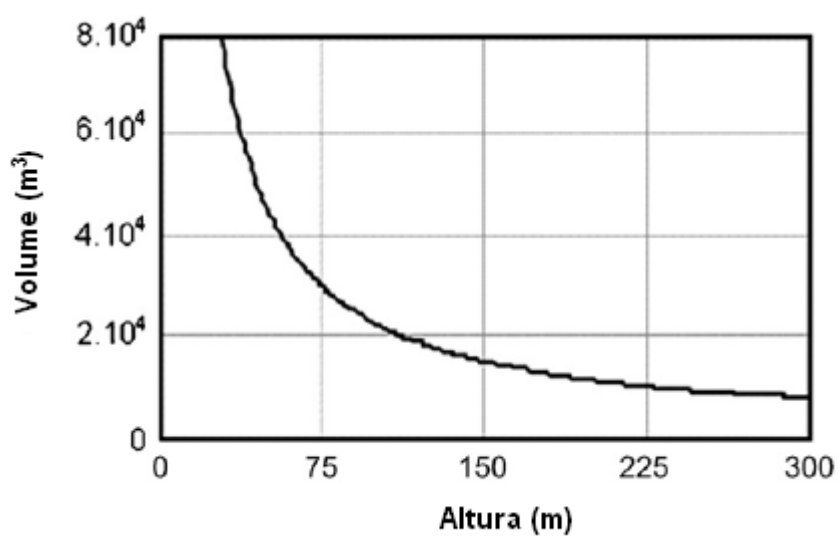


Figura 35 – Volume de água necessário a uma dada altura para armazenar 6 MWh, (Ibrahim et al., 2008).

3.2.2. Armazenamento de ar comprimido

O armazenamento de energia sob a forma de ar comprimido parece ser muito mais eficiente do que o armazenamento sob a forma de hidrogénio. Deste modo para recuperar $670 \text{ MW} \times 16 \text{ horas}$, ou seja, 10.560 MWh , necessários quando não há sol, seriam necessários armazenar $17,6 \text{ GWh}$ de ar comprimido. O custo do sistema teria que incluir o custo dos compressores e das turbinas geradoras da electricidade a partir do ar comprimido, anexando o custo de armazenamento. Isto significa que por cada estação de 1000 MW teria de se construir outra estação com capacidade de 660 MW que produzisse electricidade durante a noite a partir de ar comprimido, (Trainer, 2007).

Sørensen (2000) diz que se conseguem armazenar 15 MJ por cada m^3 , que é equivalente a $4,16 \text{ kWh}$. Deste modo, para produzir 10.560 MWh necessários para superar a parte nocturna de uma estação de 1000 MW , com 50% de rendimento, seriam necessários 4.708 milhões de m^3 em volume de armazenamento.

Este sistema de armazenamento utilizando uma turbina a gás usa aproximadamente dois terços da energia disponível para comprimir o ar da combustão, funcionando a alta pressão (40 a 70 bar) e a temperaturas perto da ambiente. Isto significa menor volume e um reservatório mais pequeno, (Ibrahim et al., 2008). Parece assim possível, usar a energia eléctrica durante as horas fora do pico com objectivo de comprimir o ar e de produzir, durante as horas de pico, três vezes mais energia com o mesmo consumo eléctrico, expandindo o ar na câmara de combustão antes de o introduzir nas turbinas. O calor residual extraído pela chaminé é recuperado e usado para aquecimento do ar (Ibrahim et al., 2008) como ilustra a Figura 36.

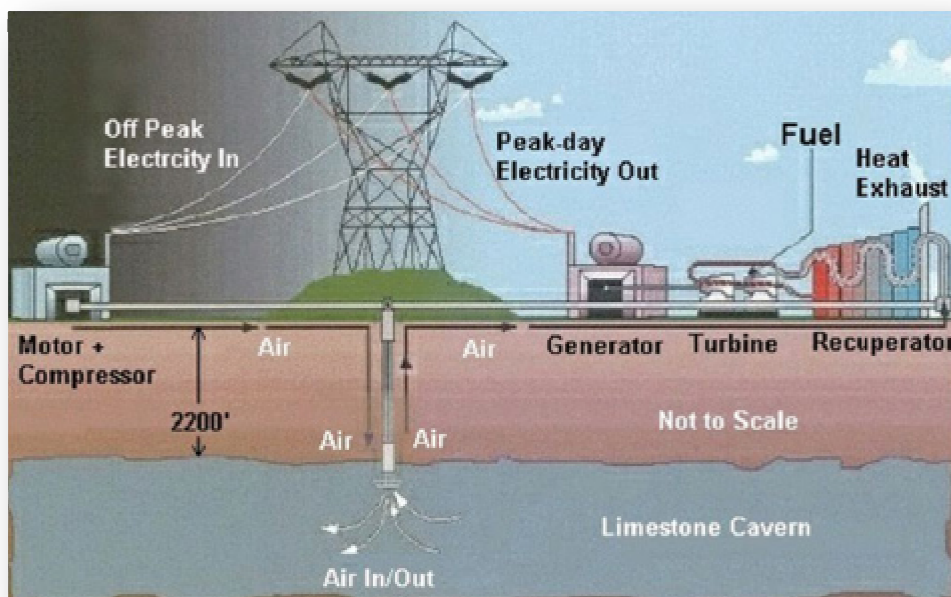


Figura 36 – Esquema da armazenagem de ar comprimido, (Ibrahim et al., 2008).

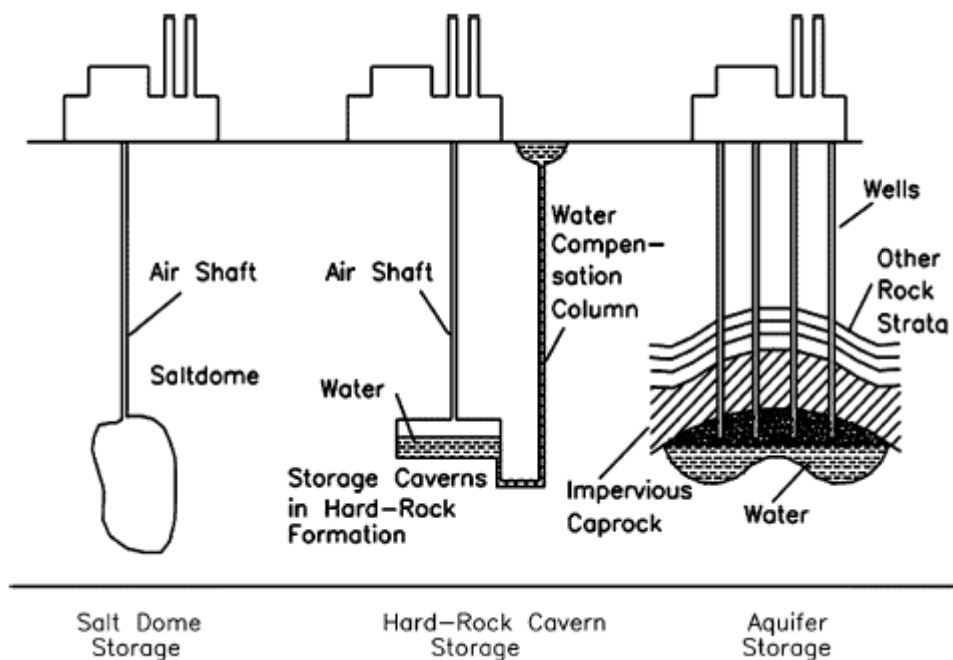


Figura 37 – Os diferentes tipos de reservatórios de armazenagem de ar comprimido, (Ibrahim et al., 2008).

3.2.3. Baterias de Vanádio

A bateria de vanádio (V) é promissora de um grande rendimento de armazenamento, inicialmente de 87%, mas este reduz-se significativamente com os ciclos de recarregamento. O que esta bateria tem de atractivo é o facto do electrólito se poder depositar num tanque, num veículo, o que significa que não há perda de tempo no carregamento.

Na Austrália, em King Island, Bass Straight, foi construído um armazenamento de 800 kWh, a partir de parques eólicos. Apesar de a estação ocupar uma vasta área de abrigo e ter custado 0,6 milhões de Euros, apenas armazena o equivalente a 83 litros de petróleo. São necessários cerca de 5 kg de Pentóxido de Vanádio para armazenar 1 kWh de energia, (Trainer, 2007).

Para armazenar a energia necessária durante a noite, de uma estação de 1000 MW, ou seja 10.560 MWh, como foi anteriormente referido, seriam necessárias 447.000 toneladas de Vanádio, tendo em conta o rendimento deste tipo de armazenamento.

3.2.4. Células combustíveis – armazenamento de Hidrogénio

Este sistema de armazenamento inclui três fases chave: electrólise, que consome energia eléctrica fora do pico para produzir hidrogénio, a célula combustível que utiliza o hidrogénio e oxigénio do ar para gerar electricidade nas horas de pico e um reservatório de hidrogénio que assegure a fonte em períodos de necessidade, (Ibrahim et al., 2008).

A reacção oxidação-redução que ocorre entre o hidrogénio e o oxigénio é uma reacção simples que decorre de uma estrutura composta por dois eléctrodos (ânodo e cátodo) separados por um electrólito, como ilustra a Figura 38.

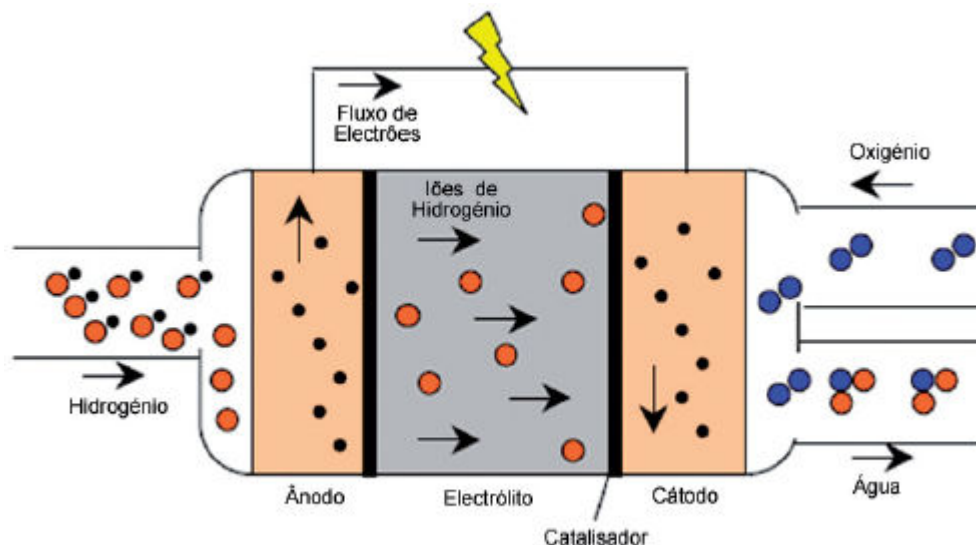


Figura 38 – Diagrama da célula de combustível, (Almeida et al., 2006).

Há vários tipos de células combustíveis, entre eles figuram as células combustíveis: alcalina (AFC), ácido fosfórico (PAFC), óxido sólido (SOFC), entre outras. As principais diferenças entre estes tipos de células reside no eletrólito usado, temperatura de operação, estilo e campo de aplicação. Embora cada tipo tenha requisitos específicos relativos ao combustível.

Existem vários modos de armazenamento de hidrogênio, tais como: comprimido, liquidificado e hidretos metálicos. Actualmente a solução mais simples para aplicação em estações reside em reservatórios pressurizados até 350 bar para volumes na gama dos 10^{-2} a 10.000 m^3 , (Ibrahim et al., 2008).

A combinação destes, para armazenamento de electricidade, é uma solução de baixo rendimento, no máximo será de 70% para a electrólise, 50% para a célula combustível e 35% para a combinação, (Ibrahim et al., 2008). Para além disso, os custos de investimento são elevados e é esperado um período de vida da célula muito limitado.

3.2.5. Volantes de inércia

Os volantes de inércia giram num vácuo criado através de campos magnéticos utilizados em sistemas de pequena escala, (Trainer, 2007).

Para armazenar energia eléctrica numa central eléctrica são necessários volantes de inércia de elevada capacidade. As perdas por fricção de 200 toneladas de volantes de inércia estão estimadas em cerca de 200 kW. Usando esta hipótese e aceitando um rendimento instantâneo de 85%, o rendimento total iria baixar para 78% ao final de 5 horas e para 45% ao final de uma dia. Assim sendo o armazenamento a longo termo com este tipo de técnica, não parece muito viável, (Ibahim et al., 2008).

Estudos indicam que os volantes de inércia conseguem armazenar 200 kJ/kg e 100 MJ por m³. Desta forma seriam necessários armazenar 380.000 m³ e 1.190.000 toneladas de volantes de inércia para uma estação eléctrica de 1000MW, (Trainer, 2007).

3.2.6. Outras opções de armazenamento

Existem outras formas de armazenamento de energia eléctrica tais como as piscinas solares, embora sejam suspeitas de não gerarem grandes quantidades de energia eléctrica, uma vez que estão limitadas pela composição química da água (Figura 39), (Trainer, 2007).

Outra técnica é o armazenamento de energia térmica (Figura 40), que depende se se trata de calor sensível ou latente.

A estação representada na Figura 40, tornou possível o armazenamento de calor através da regulação do painel solar. Este sistema foi desenvolvido para armazenar 40.000 kWh de energia térmica, equivalente a quase um dia médio de luz do sol, em 550 toneladas de electrólito, (Ibrahim et al., 2008).

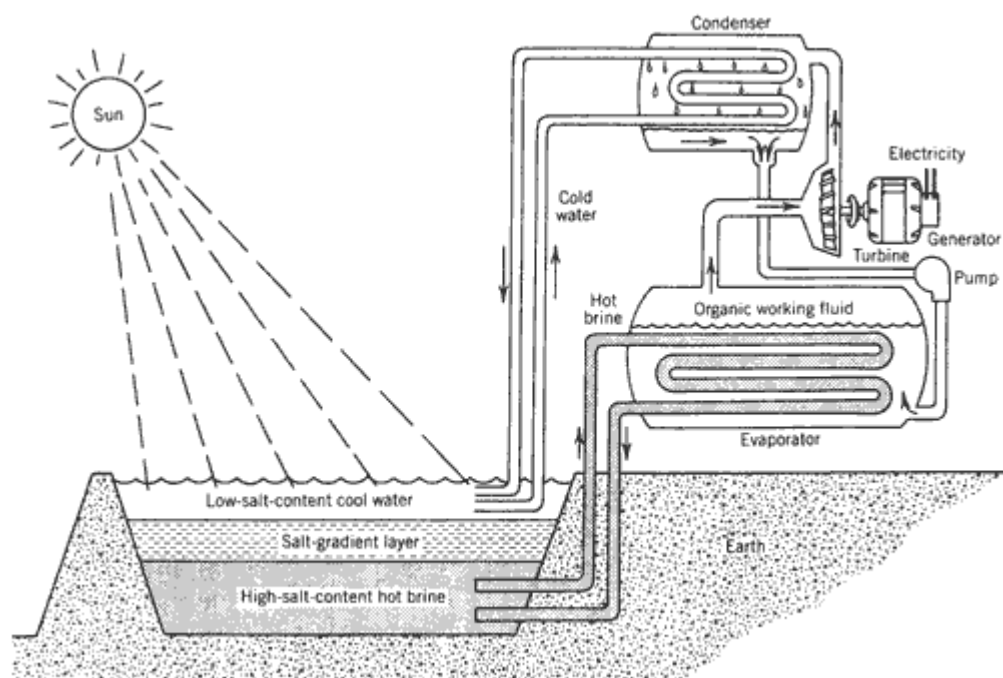


Figura 39 – Piscina solar, (www.powerfromthesun.net).

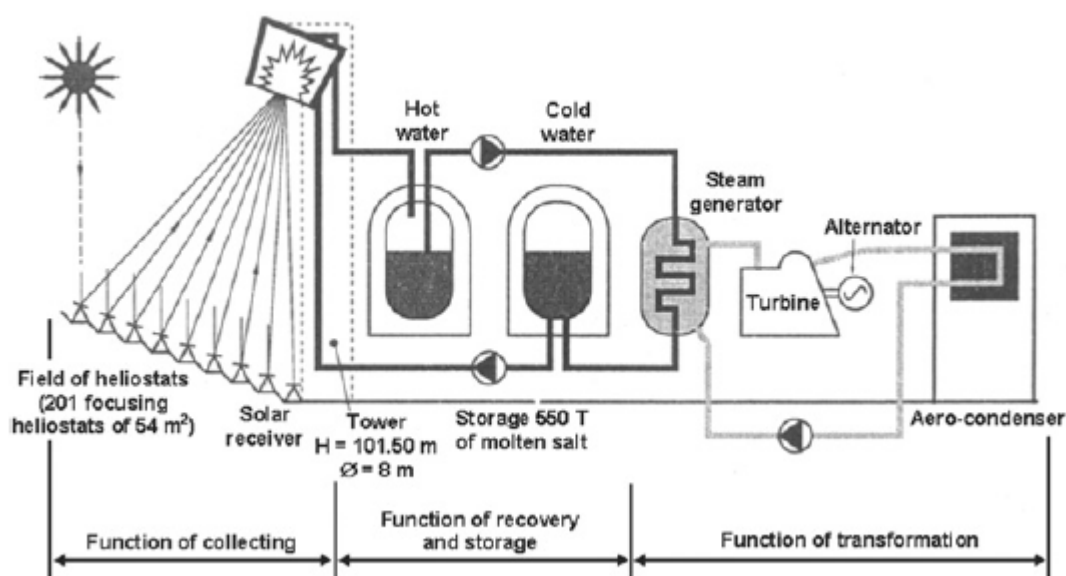


Figura 40 – Esquema de uma estação de armazenamento térmico situada em França, (Ibrahim et al., 2008).

Estão em estudo outras possibilidades interessantes de armazenamento de energia, mas até à data não conseguem rivalizar com os armazenamentos por ar comprimido ou por rebombagem.

3.3. Rede eléctrica nacional de transporte justo à costa portuguesa

Uma das condições favoráveis para o desenvolvimento das várias formas de energia captadas na ZEE portuguesa é a existência de pontos de ligação à rede eléctrica junto à costa.

O desenvolvimento crescente das novas formas de energia renováveis motivou uma nova reflexão em termos de ordenamento das redes de transporte e distribuição de energia eléctrica, tanto a nível técnico como a nível de planeamento e de exploração. A nova Directiva Comunitária das Energias Renováveis que obriga Portugal a atingir até ao ano de 2010 uma produção a partir de fontes renováveis de energias na ordem dos 39%, irá certamente aumentar a necessidade de reordenação da potência de ligação. Estes valores ainda estão incertos relativamente à energia das ondas, contudo estima-se da parte da Rede Eléctrica Nacional (REN) a instalação de cerca de 6670 MW de potência PRE (Produção em Regime Especial) até ao ano de 2010, estando previstos cerca de 3750 MW deste valor para a produção de energia eólica, (Falcão et al., 2004).

As centrais de energias alternativas, como qualquer uma das mencionadas neste trabalho, serão posteriormente ligadas a subestações, denominados Pontes de Recepção, conforme a sua potência e a sua localização. Centrais com potência de ligação numa fase inicial de desenvolvimento com menos de 50 MW serão ligadas a redes de média ou alta tensão na ordem dos 10-30-60 kV, exploradas pela EDP Distribuição de Energia. Numa fase posterior de desenvolvimento dos dispositivos de captação das novas energias, na sua fase madura em que se prevê a existência de parques com uma potência instalada acima dos 50 MW, serão ligadas a redes de muito alta tensão de 150-220 ou 400 kV e exploradas pela REN, (Falcão et al., 2004).

A REN afirma ter uma capacidade de resposta de 5 anos. Embora este período de tempo se adapte à situação do desenvolvimento de todas as formas de energia referidas neste trabalho, é pertinente fazer um planeamento

preliminar da disposição dos parques ao largo da costa portuguesa, tendo em vista antever a necessidade de pontos de ligação e suas características, de modo a concluir sobre a necessidade de alteração da rede eléctrica de transporte a médio prazo.

Capítulo 4

4. CÁLCULO DOS APROVEITAMENTOS VIÁVEIS EM PORTUGAL

O Capítulo 4 visa analisar matematicamente o valor da produção eléctrica proveniente dos aproveitamentos sob as várias formas de energia viáveis em Portugal, obtidas por intermédio do mar pertencente à ZEE portuguesa.

4.1. Cálculo de energia por aproveitamento de energia eólica *offshore* em Portugal

O INETI (Simões et al., 2007) fez recentemente uma avaliação sobre o potencial eólico em Portugal, usando como base dois modelos de aerogeradores: GEWE 1,5SL e Vestas V80 (que debitam respectivamente; 1,5 e 2,0 MW), obtendo os seguintes valores:

Potência [MW]	1,5				2			
Modelo	GEWE 1,5SL				VESTAS V80			
Cidade	[h/ano]	MWh/ano	[h/ano]	MWh/ano	[h/ano]	MWh/ano	[h/ano]	MWh/ano
Porto/Espinho	2.600	3.900	3.000	4.500	2.600	5.200	2.800	5.600
Figueira de Foz	2.600	3.900	3.000	4.500	2.600	5.200	2.800	5.600
Peniche	3.400	5.100	3.700	5.550	2.800	5.600	3.200	6.400
Estuário do Tejo	2.400	3.600	2.600	3.900	2.000	4.000	2.400	4.800
Caparica	2.600	3.900	3.000	4.500	2.200	4.400	2.600	5.200
Setúbal / Tróia	2.600	3.900	3.000	4.500	2.000	4.000	2.600	5.200
Bordeira	2.600	3.900	3.400	5.100	2.800	5.600	3.000	6.000
Portimão / Albufeira	2.600	3.900	3.000	4.500	2.200	4.400	2.600	5.200
Vila Real de Santo António	2.600	3.900	3.000	4.500	2.200	4.400	2.600	5.200
Somatório [MWh/ano]		36.000		41.550		42.800		49.200

Tabela 4 – Valores calculados, através o programa Excel, da produção anual de cada aerogerador em análise, em MWh/ano.

Para a construção da tabela anterior, o cálculo efectuado resultou da seguinte equação:

$$\text{Potência do aerogerador [MW]} \cdot \text{NEPS [h/ano]} = \text{Energia anual [MWh/ano]}$$

(4.1)

onde NEPS significa; número de horas equivalentes à potência nominal, sendo calculado do seguinte modo:

$$NEPS = F_{cap} \times n^{\circ} \text{ de horas anuais}$$

(4.2)

onde F_{cap} , significa; factor de capacidade e é dado por, (Estanqueiro, 2007):

$$F_{cap} = \frac{P_{\text{média anual}}}{P_{\text{nominal}}}$$

(4.3)

Admitindo um número mínimo de 50 aerogeradores por parque eólico *offshore* e 250 no local mais promissor, Peniche (Rodrigues, 2008) e consultando a Tabela 5, verifica-se que obter-se-iam; 2,82 TWh a 3,74 TWh por ano, o que corresponderia a uma percentagem de 6 a 8% do consumo nacional de 2006 (último registo sobre consumo nacional disponível fornecido pela Direcção Geral de Energia e Geologia – DGEG, disponível on-line em www.dgge.pt, consultado a 2 de Maio de 2008).

Potência [MW]	Nº Máq.	1,5		2,0	
Modelo		GEWE 1,5SL		VESTAS V80	
Cidade		De	a	De	a
Porto/Espinho	50	195.000	225.000	260.000	280.000
Figueira de Foz	50	195.000	225.000	260.000	280.000
Peniche	250	1.275.000	1.387.500	1.400.000	1.600.000
Estuário do Tejo	50	180.000	195.000	200.000	240.000
Caparica	50	195.000	225.000	220.000	260.000
Setúbal / Tróia	50	195.000	225.000	200.000	260.000
Bordeira	50	195.000	255.000	280.000	300.000
Portimão / Albufeira	50	195.000	225.000	220.000	260.000
Vila Real de Santo António	50	195.000	225.000	220.000	260.000
Somatório [TWh/ano]	650	2,82	3,19	3,26	3,74

Tabela 5 – Valores energéticos anuais resultantes do aproveitamento eólico *offshore*.

Um estudo realizado pela Greenpeace sobre o vento oceânico da Europa (Greenpeace, 2004) obtém, relativamente a Portugal, os seguintes valores a alcançar até ao ano 2020.

De	a	Ganho Anual de Energia [GWh]	Capacidade Instalada [GW]	Área Ocupada [km ²]	% de Área Disponível
2003	2010	2.043	0,82	102	15,36
2011	2015	6.315	1,94	242	8,71
2016	2020	30.830	9,98	1.248	12,60
Total		39.188	12,74	1.592	16,07

Tabela 6 – Produção eólica offshore a alcançar até 2020 em Portugal, (Greenpeace, 2004).

Sendo que no ano 2006 o consumo eléctrico anual de Portugal rondou os 47,5 TWh, o crescente aproveitamento eólico offshore até 2020 corresponderia, para esse ano, a cerca de 65% do referido consumo. A verificar-se este valor na prática, parece viável um gradual investimento nesta área tal como refere a Greenpeace (2004).

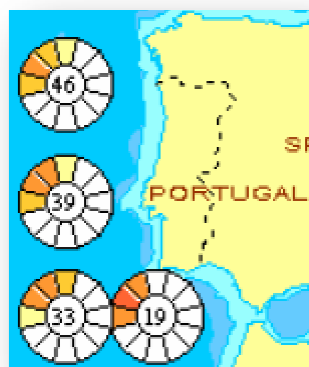
Seguidamente segue-se o cálculo de mais dois aproveitamentos viáveis em Portugal; o aproveitamento da energia das ondas e do gradiente salino / pressão osmótica.

4.2. Cálculo de energia por aproveitamento de ondas em Portugal

Partindo dos valores ilustrados no Mapa 14, irá proceder-se ao cálculo da energia por aproveitamento de ondas na costa portuguesa.

Apesar da costa portuguesa ser composta por cerca de 950 km de comprimento, apenas 500 km (costa ocidental) são propícios a este aproveitamento.

Os cálculos seguintes basearam-se em aproximações sugeridas por Falcão (2004).



Mapa 14 - Valores de energia das ondas em Portugal Continental em kW por metro de onda, (Falcão et al., 2004).

No entanto não é possível aproveitar este recurso a 100%. Para uma aproximação mais exacta deste recurso em Portugal continental consideraram-se os seguintes factores:

- 30 a 40 kW/m de energia por metro de onda;
- aproveitamento de um quarto da costa ocidental (125 km);
- 10% a 15% de rendimento;
- factor de carga de 25%;
- operando 24 horas;
- 365 dias por ano.

Utilizando simples operações matemáticas obtiveram-se os seguintes valores energéticos:

$$30 \text{ [MW/km]} \cdot 500 \text{ [km]} = 15000 \text{ MW} \Rightarrow 131,4 \text{ TWh/ano}$$

$$40 \text{ [MW/km]} \cdot 500 \text{ [km]} = 20000 \text{ MW} \Rightarrow 175,2 \text{ TWh/ano}$$

(4.4)

Potência tecnicamente viável:

$$\text{Potência [kW]} \times \text{Rendimento [\%]} = \text{Potência viável [kW]}$$

$$(30 \text{ MW/km}) \Rightarrow 15.000.000 \cdot (0,1 \text{ a } 0,15) = 1,5 \text{ a } 2,25 \text{ GW}$$

$$(40 \text{ MW/km}) \Rightarrow 20.000.000 \cdot (0,1 \text{ a } 0,15) = 2 \text{ a } 3 \text{ GW}$$

(4.5)

Potência instalada:

$$\text{Potência [GW]} \div \text{Factor de carga [\%]} = \text{Potência instalada [GW]}$$

$$(30 \text{ MW/km}) \Rightarrow 1,5 \text{ a } 2,25 \text{ GW} \cdot 0,25 = 6 \text{ a } 9 \text{ GW}$$

$$(40 \text{ MW/km}) \Rightarrow 2 \text{ a } 3 \text{ GW} \cdot 0,25 = 8 \text{ a } 12 \text{ GW}$$

(4.6)

Potência aproveitando ¼ de costa ocidental:

$$\text{Potência instalada [GW]} \times \text{Percentagem de costa [\%]} = \text{Potência aproveitada [GW]}$$

$$(30 \text{ MW/km}) \Rightarrow 6 \text{ a } 9 \text{ GW} \cdot 0,25 = 1,5 \text{ a } 2,25 \text{ GW}$$

$$(40 \text{ MW/km}) \Rightarrow 8 \text{ a } 12 \text{ GW} \cdot 0,25 = 2 \text{ a } 3 \text{ GW}$$

(4.7)

Potência operando 24 horas por dia, 365 dias por ano:

$$\text{Potência aproveitada [GW]} \times 24 [\text{h}] \times 365 [\text{dias}] = \text{Potência [GWh/ano]}$$

$$(30 \text{ MW/km}) \Rightarrow 1,5 \text{ a } 2,25 \text{ GW} \cdot 24 \cdot 365 = 13,1 \text{ a } 19,7 \text{ TWh/ano}$$

$$(40 \text{ MW/km}) \Rightarrow 2 \text{ a } 3 \text{ GW} \cdot 24 \cdot 365 = 17,5 \text{ a } 26,3 \text{ TWh/ano}$$

(4.8)

Verifica-se assim que o aproveitamento de 25% de costa ocidental, se transformaria em 13,1 a 26,3 TWh de energia num ano com uma potência instalada de 6 a 12 GW, correspondendo assim a uma percentagem de 22 a 55% das necessidades de energia eléctrica do país. Este valor vem mostrar que o aproveitamento das ondas em Portugal faz todo o sentido e cobre uma grande parcela das necessidades eléctricas da população portuguesa. Caso se venham a verificar estes valores, é plausível arriscar a construção de algumas estações de aproveitamento de ondas em Portugal.

4.3. Cálculo de energia por aproveitamento do potencial do gradiente salino (potencial osmótico) em Portugal

Por último, mas não menos importante, segue-se o cálculo simplista do aproveitamento do potencial do gradiente salino / osmótico em três, dos maiores, estuários de Portugal.

Cidade	Rio	Potência [MW]
Caminha	Rio Minho	294
Porto	Rio Douro	465
Lisboa	Rio Tejo	400

Tabela 7 – Potência produzida pelo aproveitamento da energia do gradiente salino / potencial osmótico em cada um dos três estuários com maior volume de caudal em Portugal.

Como já foi mencionado no Capítulo 2, cada m^3/s de água doce que entra no mar corresponde teoricamente a 1 MW de potência, (Gerstandt et al., 2008; Jones et al., 2003 e Sweco Grøner, 2007), dado que esta tecnologia é relativamente recente não foram encontrados valores indicativos da quantidade de caudal plausível de explorar, de modo que assumindo o aproveitamento de 15% de caudal e que este não influencia o correr normal do rio, obter-se-iam 174 MW de potência, que multiplicados por 8760 h/ano correspondem a 1,5 TWh/ano. Este valor representa cerca de 3% das necessidades de energia eléctrica, relativas a 2006, da população portuguesa. Posto isto, também esta fonte renovável de energia poderá ser uma das várias formas de energia que poderá ajudar, as actuais fontes de energia, a superar as necessidades eléctricas de Portugal.

O único contra deste aproveitamento é o facto de ser necessária uma área de membrana muito grande, uma vez que o aproveitamento de 1 MW implica uma membrana de 250.000 m^2 , assim sendo, para o caso do estuário do Rio Douro seria necessária uma membrana com cerca de $17.500.000 \text{ m}^2$, no caso do estuário do Rio Tejo, $15.000.000 \text{ m}^2$ e no caso do estuário do Rio

Minho, 11.000.000 m². Ainda assim é um aproveitamento viável dado que se estima uma duração de 7 a 10 anos de vida a plena carga, tanto da membrana como da estação, (Gerstandt et al., 2008 e Statkraft, 2006).

5. ILAÇÕES E CONCLUSÕES

O Capítulo 5 consiste num conjunto de ilações e conclusões alusivas ao que foi desenvolvido nos capítulos anteriormente tratados e presentes neste trabalho.

5.1. Conclusão

Este trabalho aparece no sentido de alertar o leitor para três grandes problemáticas sociais que o mundo vai brevemente enfrentar, a escassez dos recursos energéticos por fontes de origem fóssil a médio prazo, o problema ambiental causado pela errada forma de utilização da energia disponível e a necessidade de encontrar uma breve e douradora solução para colmatar as necessidades energéticas da futura humanidade.

Em Portugal parte desta solução poderá passar pela exploração do potencial do mar dentro de ZEE nacional.

Após uma vasta pesquisa bibliográfica, chegou-se à conclusão que em Portugal vale a pena a aposta na energia das ondas, do vento marítimo (eólicas *offshore*), do gradiente salino e das marés, sendo que as restantes formas de energia referidas neste trabalho, não encontram condições propícias para actuação no nosso mar.

Relativamente ao aproveitamento do vento marítimo em parques eólicos *offshore* localizados em zonas favoráveis, os valores obtidos após análise matemática rondam os 2,82 a 3,74 TWh de produção anual que representam 6 a 8% do consumo eléctrico actual em Portugal no ano 2006 – 47,48 TWh/ano – sendo que a potência a instalar rondaria os 975 a 1300 MW.

No caso do aproveitamento da energia do mar por meio das ondas, a aposta poderá valer a Portugal 13 a 26 TWh de energia anual produzida, o que representa 22 a 55% de energia eléctrica consumida actualmente em Portugal. A potência a instalar seria de 6 a 12 GW, com uma eficiência na ordem dos 25% e com o aproveitamento de 25% da costa ocidental disponível para este tipo de aproveitamento.

O aproveitamento de 15% (de caudal), dos três maiores estuários portugueses (Rios Douro, Tejo e Minho), do potencial do gradiente salino / osmótico equivaleria, em grosso modo a 174 MW instalados e a cerca de 1,5 TWh/ano, representando assim 3 % das necessidades eléctricas da população

portuguesa. O único senão seria as áreas das membranas serem muito elevadas, compreendendo-se entre 73.500.000 e 116.250.000 m².

No seu conjunto, estas três contribuições, poderiam suportar o correspondente a; 31 a 66 % do consumo eléctrico médio anual praticado em Portugal.

Tipo de Aproveitamento	Potência Instalada [GW]	Potência [TWh/ano]	Contributo Energético* [%]
Eólico <i>offshore</i>	1 a 1,3	2,8 a 3,7	6 a 8
Energia das ondas	6 a 12	13 a 26	22 a 55
Potencial osmótico	0,174	1,5	3

Total = 31 a 66

* relativo ao consumo de energia eléctrica em Portugal em 2006.

Tabela 8 – Tabela comparativa de resultados, ao nível da aplicação das várias fontes renováveis de energia mencionadas, aplicáveis em Portugal.

Não obstante é de referir que todos estes cálculos subentendem uma análise simplista, como primeira aproximação, sem qualquer análise económica envolvida.

Pode ainda verificar-se na Tabela 10 presente no Anexo 4, uma estimativa da potencialidade mundial de alguns dos referidos aproveitamentos dada por Sweco Grøner (2007) e tal como nos resultados obtidos, também a energia das ondas é a mais promissora.

5.2. Esquecer as fontes de energia renováveis?

Nada do que foi mencionado neste trabalho constitui argumento obstante às fontes renováveis de energia, antes pelo contrário. A Humanidade deve mover-se no sentido de depender dessas mesmas fontes o mais rapidamente possível. O Capítulo 4 mostrou o quão bem poderiam esses combustíveis sustentar parte dos gastos de uma sociedade mais justa, com gastos moderados, no entanto a conclusão geral, das discussões mundiais sobre o tema, é de não conseguirem sustentar o exagerado consumo da sociedade, esta deve pensar em formas de diminuir e racionalizar o seu consumo para o bem das próximas gerações ou então nunca pôr de lado formas de energia não renováveis mas de emissões de carbono nulas como é o caso da energia nuclear.

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, V., 2008, *Haja Vento*, Expresso de 21 de Março, secção Economia, Portugal.
- Armstrong, F. e Blundell, K., 2007, *Energy... Beyond oil*, Oxford, New York.
- Batten, W.; Bahaj, A.; Molland, A. e Chaplin, J., 2008, *The prediction of the hydrodynamic Performance of Marina Current Turbines*, Renewable Energy, 33, pp 1085-1096.
- Boyle, G., 2000, *Renewable Energy – Power for a Sustainable Future*, Oxford, Nova Iorque.
- Breeze, P., 2005, *Power Generation Technologies*, Elsevier.
- Campbell, J., 1997, *The Coming Oil Crisis*, Multiscience and Petroconsultants, Brentwood, England.
- Clément, A.; McCullen, P.; Falcão, A.; Fiorentino, A.; Gardner, F.; Hammarlund, K.; Lemonis, G.; Lewis, T.; Nielsen, K.; Petroncini, S.; Pontes, M.; Schild, P.; Sjöström, B.; Sørensen, H. e Thorpe, T., 2002, *Wave Energy in Europe: Current Status and Perspectives*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, pp 405-431.
- Cruz, J. e Sarmiento, A., 2007, *Sea State Characterisation of the Test Site of an Offshore Wave Energy Plant*, Ocean Engineering, 34, pp 763-775.
- Falnes, J., 2007, *A Review of Wave-Energy Extraction*, Marine Structures, 20, pp 185-201.
- Fanchi, J. R., 2004, *Energy: Technology and Directions for the Future*, Elsevier.
- Faúndez, P., 2008, *Renewable Energy in a Market-based Economy: How to Estimate its Potential and Choose the Right Incentives*, Renewable Energy, 33, pp 1768-1774.
- Gerstandt, K.; Peinemann, K.; Skilhagen, S.; Thorsen, T. e Holt, T., 2008, *Membrane Processes in Energy Supply for an Osmotic Power Plant*, Desalination, 224, pp 64-70.
- Hanjalić, K.; Van de Krol, R. e Lekić, A., 2008, *Sustainable Energy Technologies Options and Prospects*, Springer.

- Harries, D.; McHenry, M.; Jennings, P. e Thomas, C., 2006, *Hydro, tidal and wave energy in Australia*, International Journal of Environmental Studies, 63, pp 803-814.
- Hayden, H., 2004, *The Solar Fraud*, 2ª Edição, Vales Lake, Pueblo West.
- Heinberg, R., 2003, *The Party's Over*, New Society, Gabriola Island.
- Ibrahim, H.; Ilinca, A. e Perron, J., 2008, *Energy storage systems – Characteristics and comparisons*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, pp 1221-1250.
- Jones, A. e Finley, W., 2003, *Recent Development in Salinity Gradient Power*, Oceans 2003 Proceedings, 4, pp 2284-2287.
- Kaltschmitt, M.; Streicher, W. e Wiese, A., 2007, *Renewable Energy Technology, Economics and Environment*, Springer.
- Lennard, D., 1995, *The Viability and Best Locations for Ocean Thermal Energy Conversion Systems Around the World*, Renewable Energy, 6, pp 359-365.
- Mollison, D. e Pontes, M., 1992, *Assessing the Portuguese Wave-Power Resource*, Energy, 17, pp 255-268.
- Nihous, G., 2007, *An Estimate of Atlantic Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Resources*, Ocean Engineering, 34, pp 2210-2221.
- Odum, H., 2000, *Emergy Evaluation of an OTEC Electrical Power System*, Gainesville, Energy, 25, pp 389-393.
- Patzek, T. e Pimentel, D., 2005, *Thermodynamics of Energy Production from Biomass*, Critical Reviews in Plant Sciences, 24, pp 327-364.
- Pimentel, D., 2003, *Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics and Environmental Impacts are Negative*, Natural Resources Research, 12, pp 127-134.
- Ponta, F. e Jacovkis, P., 2007, *Marine-current Power Generation by Diffuser-augmented floating hydro-turbines*, Renewable Energy, 33, pp 665-673.
- Pontes, M.; Aguiar, R. e Pires H., 2003, *A Nearshore Wave Energy Atlas for Portugal*, 22nd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 8 a 13 de Junho de 2003, Cancun, México.
- Pontes, M.; Rebêlo, L.; Silva, P. e Pata C., 2005, *Database of Wave Energy Potential in Portugal*, 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 12 a 16 de Junho de 2005, Halkidiki, Grécia.
- Rhinefrank, K.; Agamloh E.; Jouanne, A.; Wallace, A.; Prudell, J.; Kimble, K.; Aills, J.; Schmidt, E.; Chan, P.; Sweeny, B. e Schacher, A.,

2006, *Novel Ocean Energy Permanent Magnet Linear Generator Buoy*, Renewable Energy, 31, pp 1279-1298.

- Sánchez, R.; Relvas, P. e Delgado, M., 2007, *Coupled Ocean Wind and Sea Surface Temperature Patterns off the Western Iberian Peninsula*, Journal of Marine Systems, 68, pp 103-127.
- Sarmento, A.; Melo, A. e Pontes, M., 2003, *The Influence of the Wave Climate on the Design and Annual Production of Electricity by OWC Wave Power Plants*, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 125, pp 139-144.
- Sauvaget, P.; David, E. e Soares, C., 2000, *Modelling Tidal Currents on the Coast of Portugal*, Coastal Engineering, 40, pp 393-409.
- Silva, J., 2007, *Produção de Hidrogénio por Electrólise da Água do Mar com Benefícios de Impacto Ambiental*, Brasil H₂ Fuel Cell Expo Seminar 2007, 24 a 26 de Setembro de 2007, Curitiba, Brasil.
- Skilhagen, S.; Dugstad, J. e Aaberg, R., 2008, *Osmotic Power – Power Production Based on the Osmotic Pressure Difference Between Waters With Varying Salt Gradients*, Desalination, 220, pp 476-482.
- Sørensen, B., 2000, *Renewable Energy*, International Books, Utrecht.
- Sørensen, B., 2006, *Renewable Energy: its Physics, Engineering, Invironmental Impacts Economical & Planning*, 3ª Edição, Elsevier.
- Tahara, K.; Horiuchi, K. e Kojima, T.; 1995, *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Systems as a Countermeasure for CO₂ Problem – Energy Balance and CO₂ Reduction Potential*, Energy Convers, 36, pp 857-860.
- Tanner, D., 1995, *Ocean Thermal Energy Conversion: Current Overview and Future Outlook*, Renewable Energy, 6, pp 367-373.
- Trainer, T., 2007, *Renewable Energy Cannot Sustain A Consumer Society*, Springer.
- Zangrando, F.; Bharathan, D.; Link, H. e Pachal, C., 1990, *Seawater Test Results of Open-Cycle Ocean Thermal Energy Conversion (OC-OTEC) Components*, Heat transfer engineering, 11, pp 44-53.

OUTRAS REFERÊNCIAS

- Almeida, A. e Moura, P., 2006, *Hidrogénio e células de combustível*, Universidade de Coimbra, Coimbra, nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/29_1-2/vol29_1_2_Art08.pdf, consultado a 05/04/08.
- AquaEnergy, 2006, <http://www.aquaenergy.com/gallery.htm#>, consultado a 17/05/08.
- AWS, 2004, Ocean Energy, www.waveswing.com, consultado a 01/06/08.
- BDH, 2007, *Efficient Systems and Renewable Energies*, Messe Frankfurt, Frankfurt, Alemanha, www.bdh-koeln.de/html/pdf/pdf_1/bdh-broschuere-2007---englisch.pdf, consultado a 22/05/08.
- Black, R., 2006, *Sea Energy Could Help Power UK*, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4645452.stm>, consultado a 20/02/08.
- Bp, 2006, *Annual review*, <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9015498&contentId=7028087>, consultado a 05/01/08.
- Carvalho, M. e Lessa, G., 2000, *Marégrafos*, www.geocities.com/mpcarvalho_2000/image8IM.JPG, consultado a 04/04/08.
- Catálogo, Vestas, 2007, Dinamarca, <http://www.vestas.com/en/media/brochures>, consultado a 02/02/08.
- Centro de energia das ondas, 2008, www.wave-energy-centre.org, consultado a 01/03/08.
- Ciência PT, http://www.cienciapt.info/pt/index.php?option=com_content&task=view&id=13465&Itemid=235, consultado a 21/02/08.
- DGGE, 2006, *Estatísticas-Balanços Energéticos 2006*, <http://www.dgge.pt/>, consultado a 02/05/08.
- Dias, A., 2003, *Portugal e o Mar: Importância da Oceanografia para Portugal*, Universidade do Algarve, Faro, w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/ImpOcPort.pdf, consultado a 28/05/08.
- DWIA (Danish Wind Industry Association), 2003, www.windpower.org, consultado a 04/04/08.

- EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy), 2005, U.S. Department of Energy, www.eere.energy.gov, consultado a 10/05/08.
- EMEPC, Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental, <http://www.emepc.gov.pt>, consultado a 20/03/08.
- Estanqueiro, A., 2007, *Energias Renováveis - Energia Eólica – Identificação e Caracterização do Recurso Eólico*, INETI, hidrox.ist.utl.pt/doc_fct/en_renov/RecursoEolicoAEstanqueiro_v2007.pdf, consultado a 05/06/08.
- Falcão, A., 2004, *Energia dos Oceanos: As várias energias dos oceanos*, <http://www.energiasrenovaveis.com/html/CANAIS/destaques/destaques1104.asp>, consultado a 03/05/08.
- Falcão, A., 2005, *Energias das Ondas*, Seminário Sobre Física e Energia, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, www.cfn.ist.utl.pt/conf_energia/files/21_9_Apresentacao.pdf, consultado a 02/02/08.
- Falcão, A., 2006, *Turbomáquinas: Aerodinâmica das Turbinas Eólicas*, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Mecânica, Lisboa, Portugal, hidrox.ist.utl.pt/doc_FCT/CapTurbinasEolicas2006.pdf, consultado a 02/02/08.
- Falcão, A.; Sarmiento, A.; Gato, L.; Brito e Melo, A.; Pontes, M. e Justino, P., 2004, *Potencial e Estratégia de Desenvolvimento da Energia das Ondas em Portugal*, Relatório do Wave Energy Center (WEC) – Centro de Energia das Ondas, www.wave-energy-centre.org/pagesp/Relatorio_DGGE.pdf, consultado a 30/05/08.
- Freiesleben, H.; Johnson, R.; Scholten, O.; Türler, A. e Wyss, R., 2007, *Energy For the Future – The Nuclear Option*, European Physical Society, França, www.iupap.org/epspositionpaper.pdf, consultado a 06/06/08.
- Geo confluences, 2006, <http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/territ/FranceMut/FranceMutDoc9.htm>, consultado a 12/03/08.
- Greenpeace, 2004, *Sea Wind Power*, Garrad Hassan, London, United Kingdom, <http://www.greenpeace.org/international/press/reports/sea-wind-europe#>, consultado a 06/04/08.
- Guia Geográfico, Portugal, www.europa-turismo.net, consultado a 05/03/08.
- IGEO (Instituto Geográfico Português), 2008, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, www.igeo.pt, consultado a 07/01/08.

- INAG (Instituto da água), 2008, <http://www.inag.pt/estuarios/MenuEstuarios>, consultado a 21/04/08.
- Instituto da Água (INAG), 2008, <http://www.inag.pt/estuarios/MenuEstuarios>, consultado a 20/05/08.
- IST (Instituto Superior Técnico), Lisboa, <http://www.maretec.mohid.com/>, consultado a 10/02/08.
- Medeiros, D., 2007, Eco Tecnologia, <http://ecotecnologia.files.wordpress.com/2007/11/seagen.jpg>, consultado a 10/03/08.
- NASA, 2004, *A Chilling Possibility*, http://science.nasa.gov/headlines/y2004/05mar_arctic.htm, consultado a 31/05/08.
- Nunes, P., 2008, *A Distribuição dos Oceanos*, <http://web.educom.pt/dgpedronunes/oceanos/Oceint.html>, consultado a 31/05/08.
- Otrasenergia.com, <http://www.otrasenergias.com/results.asp?nSector=9&cSector=Mareas>, consultado a 17/04/08.
- Portal das energias renováveis, 2008, www.energiasrenovaveis.com, consultado a 01/03/08.
- Power from the Sun, www.powerfromthesun.net, consultado a 02/06/08.
- RETScreen, 2008, <http://www.retscreen.net/>, consultado a 05/04/08.
- Rodrigues, A., 2004, *Parques Eólicos em Portugal*, INEGI, Porto, Portugal, www.inegi.pt/publicacoes/outras/Parques_De06.pdf, consultado a 20/03/08.
- Rodrigues, A., 2008, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, comunicação pessoal.
- Ryan, V., 2005, *Sea Dams – The Rance Tidal Power Scheme*, <http://www.technologystudent.com/energy1/tidal3.htm>, consultado a 31/05/08.
- Sa, A., 2000, *Os Estuários das Bacias Internacionais*, Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto, Porto, Portugal, alojamientos.us.es/ciberico/archivos_acrobat/zaraponen7bordalo.pdf, consultado a 25/05/08.
- Seppälä, A., 2007, *Thermodynamics Studies of Osmotic Flows and their Application to Energy Conversion Systems*, Tese de Doutoramento, Universidade de Helsínquia, Espoo, Finlândia,

ib.tkk.fi/Diss/2007/isbn9789512287758/isbn9789512287758.pdf,
consultado a 26/06/08.

- Shell AG, Alemanha, 1998,
<http://www.newstin.com.pt/pt/TECHNOLOGY>, consultado a 05/02/08.
- Shively, B., 2008, *Secretary of Energy Signs Memorandum of Understanding to Strengthen U.S.-Portugal Cooperation in Renewable Energy Technologies*, Lisboa, Portugal, <http://www.energy.gov/news>, consultado a 11/03/08.
- Simões, T. e Estanqueiro, A., 2007, *Aproveitamento do Potencial Eólico Sustentável na Região Oeste*, Departamento de Energia Renováveis, Unidade de Energia Eólica e dos Oceanos, INETI, Caldas da Rainha, www.amo.oestedigital.pt/uploads/AMunicipOesteTSimoesVF.pdf, consultado a 20/05/08.
- Souto, H., 2007, *Recursos Vivos Marinhos, Um Sector Estratégico*, Instituto Geográfico Português, Lisboa, http://www.igeo.pt/atlas/Cap3/Cap3c_1.html, consultado a 22/02/08.
- Statkraft, 2006, *Osmotic Power, A Huge Renewable Energy Source*, Oslo, Noruega, www.statkraft.de/Images/Statkraft%20Osmotic%20Power_tcm4-5362.pdf, consultado a 15/04/08.
- Sweco Grøner, 2007, *Renewable Energy*, Lysaker, Noruega, www.renewableenergy.no/file.axd?fileID=12, consultado a 20/05/08.
- Symscape, 2007, *Computer Aided Engineering for all*, www.symscape.com/node/422, consultado a 03/03/08.
- TVNET, 2007, <http://www.tvnet.pt/noticias/detalhes.php?id=4054>, consultado a 02/03/08.
- UN-Oceans, 2004, *UN Atlas of the Oceans*, <http://www.oceansatlas.org/unatlas/uses/EnergyResources/Background/OTEC/OTEC2.html>, consultado a 06/06/08.
- UVI, 2005, University of the Virgin Islands, www.uvi.edu, consultado a 06/06/08.
- Wave Dragon, 2005, <http://wavedragon.net>, consultado a 01/06/08.

ANEXOS

ANEXO 1 | Unidades e factores de conversão

Potências de 10

<i>Prefixo</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
ato	a	10^{-18}
fento	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
mili	m	10^{-3}

<i>Prefixo</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
quilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}
exa	E	10^{18}

Unidades SI

<i>Unidade Básica</i>	<i>Nome</i>	<i>Símbolo</i>
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
corrente eléctrica	ampere	A
temperatura	Kelvin	K

<i>Unidade derivada</i>	<i>Nome</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Definição</i>
energia	joule	J	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
potência	watt	W	$J \cdot s^{-1}$
força	newton	N	$J \cdot m^{-1}$

ANEXO 2 | Outras Considerações

Para além das fontes renováveis de energia mencionadas existem formas de energia paralelas que se aproveitam indirectamente do mar. Exemplo é a produção de Hidrogénio por via da electrólise da sua água.

Produção de Hidrogénio por Electrólise Da Água do Mar

Muito se discute relativamente ao Hidrogénio ser, ou não, a possível solução que todos procuram para ultrapassar a crise energética que se parece avizinhar, sendo o hidrogénio um gás incolor, inodoro, não tóxico abundante e que permite uma energia praticamente limpa, sem emissões significativas de gases e poluentes no seu processo de produção (TVNET, 2007), o “Colégio Interno dos Carvalhos”, sito em Vila Nova de Gaia, levou a cabo um projecto cujo âmbito visou provar a possibilidade de produzir Hidrogénio (H_2), sem Carbono (C), por electrólise da água do mar, produzindo simultaneamente Ferro (Fe) que para além de poder ser vendido para reutilização siderúrgica também poderá contribuir para o aumento do fitoplâncton nos oceanos e consequentemente aumentar a população marinha, a confirmar a suspeita científica.

A metodologia utilizada consiste num protótipo à escala laboratorial implementado num tanque/aquário onde um electrolisador flutuante ao qual se encontram aplicados os eléctrodos é alimentado pela corrente eléctrica de um painel fotovoltaico e/ou de um aerogerador. Uma célula condutimétrica e uma de pH são usadas na monitorização da electrólise. O hidrogénio produzido é armazenado assim numa bureta e posteriormente usado numa célula de combustível, conseguindo desta forma energia primordial, hidrogénio, sem carbono, pronta a substituir os combustíveis fósseis que muitas preocupações dão à nossa sociedade. O uso de energias renováveis bem como os benefícios de impacto ambiental associados ao processo justificam por si o seu carácter eco-sustentável, embora ainda estejam associados a estas tecnologias custos relativamente elevados.

O petróleo contribui actualmente com cerca de 72% para o consumo directo e indirecto nos meios de transporte. O hidrogénio vem-se afirmando, ainda que lentamente, e para além do mais, como combustível alternativo privilegiado para os transportes do futuro. Os veículos movidos a pilhas de hidrogénio são já uma realidade, exemplo desse facto foram os três autocarros movidos a hidrogénio pertencentes à Sociedade de Transportes Colectivos do Porto (STCP) que circularam no período compreendido entre Janeiro de 2004 e Dezembro de 2005 zona do Grande Porto.

O hidrogénio praticamente não existe livre na natureza e é importante pensar na forma de o obter, numa perspectiva de eco-sustentabilidade, estabelecendo um ciclo biogeoquímico tão perfeito quanto a tecnologia o permita. A eco-sustentabilidade referida pretende tão-somente fazer coincidir os aspectos **económicos** e **ecológicos** numa óptica de complementaridade. Fazer com que a **economia** e a **ecologia** sejam as faces da mesma moeda.

Entre os vários ensaios efectuados foram seleccionados valores representativos de um dos ensaios que são apresentados na tabela que se segue:

Volume H ₂ / mL	0	3	6	9	12	15
Tempo / s	0	214	411	626	849	969
Intensidade / A	0,138	0,141	0,123	0,099	0,196	0,182
d. d. p. / V	5,09	4,98	4,55	3,91	6,36	6,03

Tabela 9 – Resultados experimentais relativos à quantidade de hidrogénio produzida.

Na verdade, todo o projecto foi e continua a ser pensado numa perspectiva de auto-sustentabilidade energética. O Homem pode assim colher os benefícios decorrentes dos mecanismos de conversão energética proporcionados pela natureza.

O recurso à utilização do ferro no ânodo pressupõe a sua produção, uma vez que este metal não existe livre no estado nativo. Temos de reconhecer que estamos a dar paços largos na auto-sustentabilidade de muitas regiões que sobrevivem essencialmente do mar e que neste momento se sentem ameaçadas. (Silva, 2007)

"O hidrogénio é o combustível do futuro, a tecnologia está bem dominada, mas é necessário que os custos do combustível e das viaturas sofra uma redução (para poder ser utilizado em larga escala)", afirmou Rocha Teixeira director do Gabinete de Projectos e Estratégia da STCP, dia 12 de Abril de 2007.

ANEXO 3 | Actualmente em Portugal

Contributo do Mar em Portugal

O “Diário Económico” de segunda-feira, 17 de Março de 2008 publica uma notícia intitulada “Contributo do mar no PIB pode duplicar”, esta notícia em suma revela um estudo levado a cabo pela SAER (Sociedade de Avaliação de Empresas e Risco) encomendado por 20 das maiores empresas nacionais onde pretende demonstrar que “caso o Estado reoriente as suas políticas estratégicas para os próximos 25 anos o contributo do mar para a economia pode facilmente duplicar”, passando de 11% a 22% do PIB (Produto Interno Bruto).



Figura 41 – Capa do Diário Económico de 17 de Março de 2008.

Actualmente as actividades económicas relacionadas directa e indirectamente com o mar contribuem com cerca de 17 mil milhões de Euros relativamente ao PIB.

Na Figura 42 encontram-se alguns dos principais financiadores do estudo sobre a potencialidade económica do mar em Portugal.



Figura 42 – Principais financiadores do estudo sobre a potencialidade económica do mar, (Andrade, 2008).

Haja Vento

Foi no dia 21 de Março, sexta-feira, de 2008 que o Jornal “Expresso” lançou uma notícia relativamente ao potencial eólico português. A notícia intitulada “Haja vento”, inicia-se referindo que “o potencial eólico do mar português é quase ilimitado”, dando conta de que a Comissão Europeia quer que em 2020, 20% da energia consumida, nos 27 países da União seja obtida a partir de fontes renováveis de energia, esse aproveitamento deverá surgir, acima de tudo, da energia eólica. “Aliás, sobre esta matéria, especialistas europeus reunidos no passado mês de Dezembro em Berlim, na Alemanha, garantiram que se a União Europeia (UE) quiser atingir aquela meta terá de fazer uma aposta decisiva no enquadramento dos ventos e, acima de tudo dos ventos que sopram no mar.” Sendo que a construção de parques eólicos *offshore* poderá ser a única forma viável, visto que em território continental, o potencial começa a ficar esgotado.

A Figura 43 sugere alguns tipos de aproveitamento da energia do vento, incluindo, logicamente o aproveitamento eólico *offshore*.

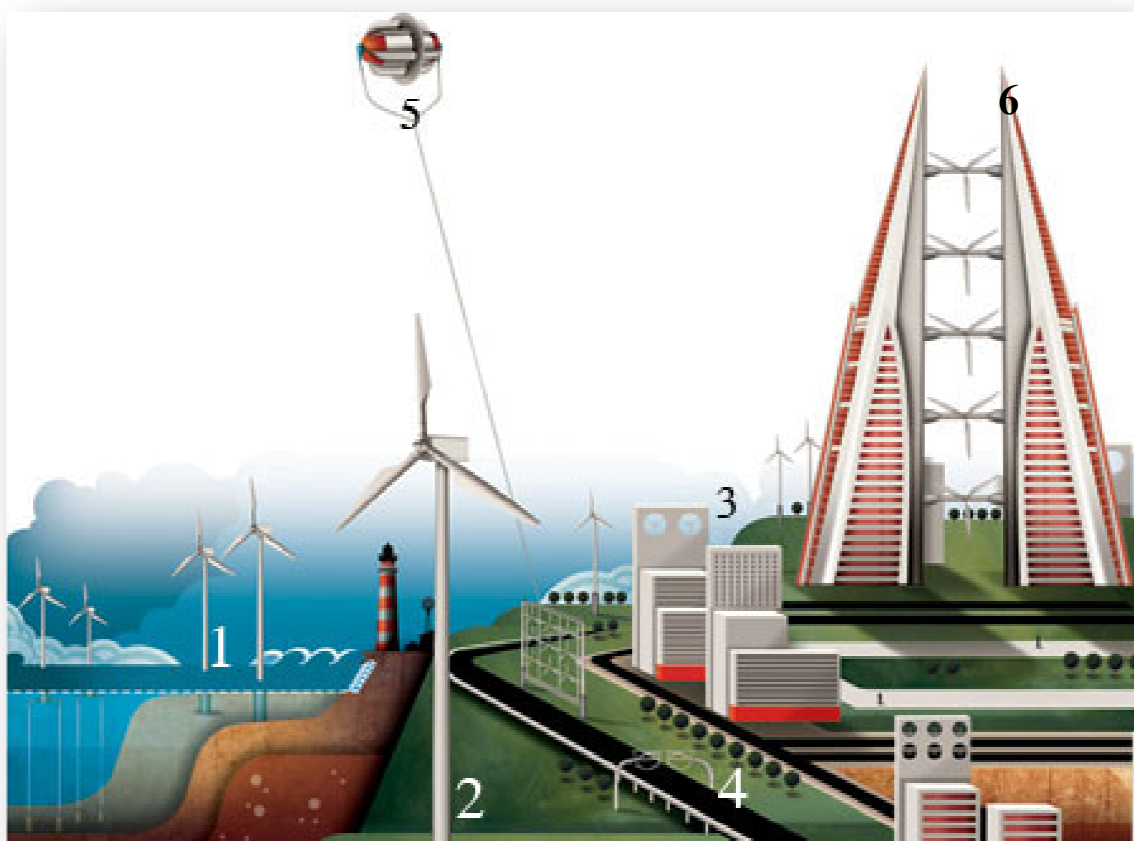


Figura 43 – Os diversos tipos de aproveitamento do vento, (Andrade, 2008).

Legenda: 1- Eólicas *offshore*, aerogeradores assentes no fundo do mar, em águas pouco profundas, ou construídas a partir de bases flutuantes. 2- O maior aerogerador (138 metros) acaba de ser instalado em Emden, na Alemanha, Tem capacidade de produção de 6 a 7 MW e pode abastecer 5.000 casas. 3- Turbinas incorporadas em imóveis podem fornecer até 15% das suas necessidades energéticas. 4- Ao nível da microgeração, há soluções tão inesperadas como a colocação de turbinas sobre auto-estradas para produzirem a energia que alimenta os postes de iluminação. 5- Como o vento ao nível do solo não é constante, a solução pode passar pela colocação de turbinas a cerca de 300 metros de altitude; um enorme balão de Hélio sustém a turbina que o envolve, de onde a energia gerada é depois enviada para Terra. 6- Aerogeradores em série para aproveitamento de energia a diferentes altitudes.

ANEXO 4 | Estimativa global das energias cuja fonte energética é o mar

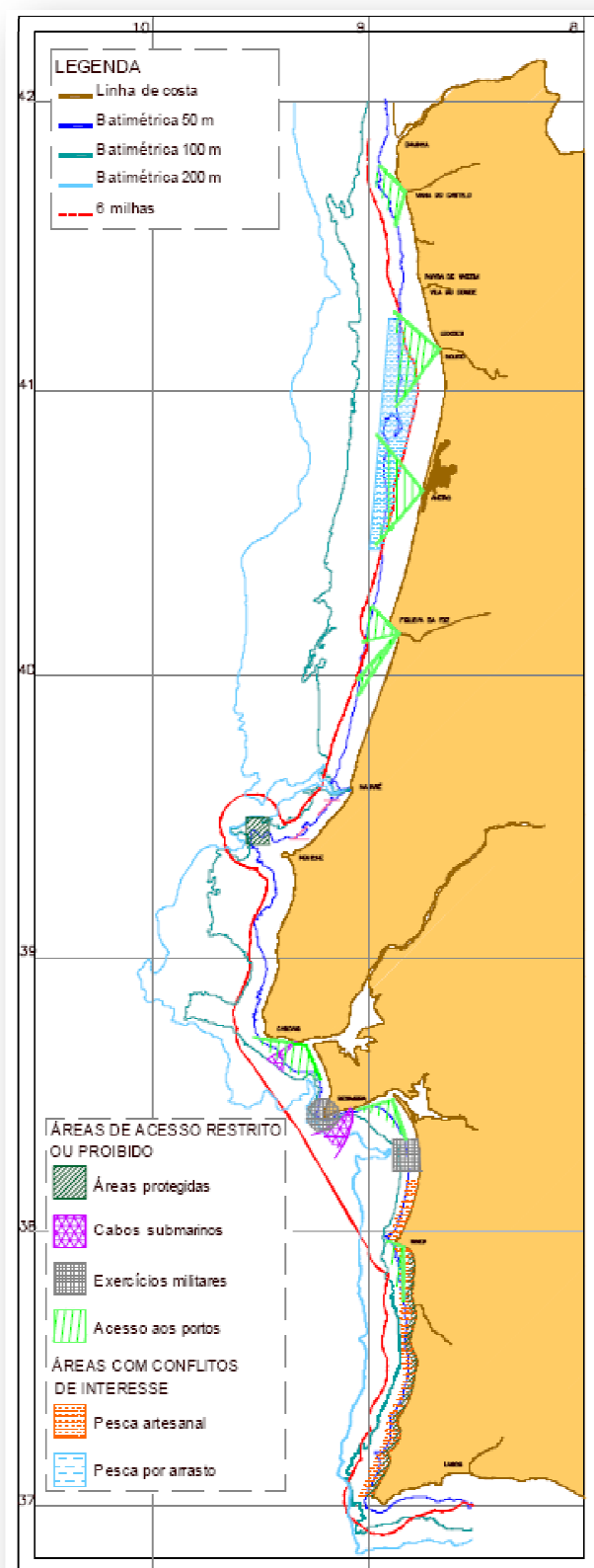
A tabela que se segue ilustra o potencial estimado de algumas das fontes renováveis de energia mencionadas neste projecto. Como se pode verificar a energia das ondas é uma das fontes mais promissoras a nível mundial e tal como foi analisado no Capítulo 4, também em Portugal parece ser viável a sua exploração.

	Resource	Technologies	Estimated global resource	Cost estimate
Wave power	Onshore, Along the coast, offshore	Coastal tidal reservoir, straits	8 000–80 000 TWh/year	99–137 USD/MWh
Tidal power	Coastal tidal reservoir, straits	Propeller, turbines	200 TWh/year	
Ocean currents	Offshore	Turbines, reciprocating wing	800+ TWh/year	56–168 USD/MWh
Salt power	By river mounths in the ocean	Semipermeabel osmotic membrane	2 000 TWh/year	
Ocean thermal power	Offshore deep sea	Thermodynamic Rankine-cyclus	10 000 TWh/year	

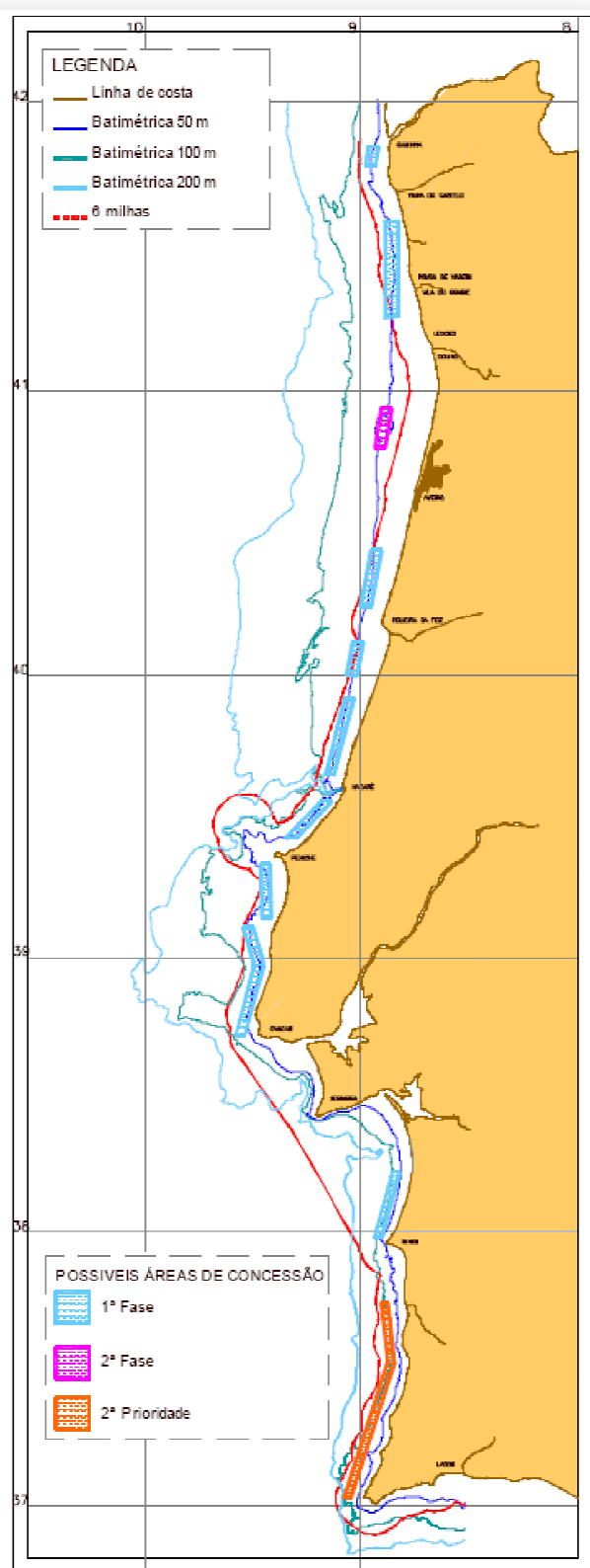
Tabela 10 – Fontes, tecnologias, produção e estimativa de custos ao nível de algumas fontes renováveis de energia cuja origem é o mar, (Sweco Grøner, 2007).

**ANEXO 5 | Mapa de condicionantes na costa Atlântica Portuguesa
à construção de parques de energia das ondas**

Zonas com conflitos de usos



Possíveis áreas de concessão



Mapa 15 – Zonas potencialmente utilizáveis e possíveis áreas de concessão para parques de energia das ondas na costa ocidental portuguesa, (Falcão et al., 2004).

ANEXO 6 | Impactos ambientais da construção de parques de energia das ondas

Impactos ambientais

Síntese dos possíveis impactos ambientais provocados pela implementação, operação e manutenção de dispositivos de conversão de energia das ondas e respectivas medidas de mitigação, (Falcão et al., 2004).

▪ Construção e Instalação:

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Instalação de cabos submarinos	Efeitos semelhantes nas turbinas eólicas offshore: perturbação (temporária) de alguns habitats nas imediações do cabo Danificação de zonas de interesse arqueológico	Evitar a colocação de cabos submarinos em zonas referenciadas
Instalação de cabos na costa	Efeitos semelhantes nas turbinas eólicas offshore: perturbação (temporária) de alguns habitats nas imediações do cabo	Evitar a colocação de dispositivos e toda a sua estrutura envolvente em zonas referenciadas
Instalação do sistema de amarração	Efeitos semelhantes na amarração de navios: perturbação (temporária) de alguns habitats	Evitar a colocação de blocos de amarração (âncoras) em zonas referenciadas
Construção do dispositivo	Impactes diversos (desde visuais, ruído, etc.)	Sempre que possível evitar a construção do dispositivo no local
Tráfego marítimo durante a instalação	Aumento do tráfego marítimo durante a instalação de dispositivos não costeiros, o que pode afectar uma gama variada de espécies	Evitar a instalação de dispositivos em períodos relevantes para as espécies locais (migrações, períodos de descanso, ...)

Tabela 11 – Impactos ambientais devidos à construção e instalação de parques de energia das ondas, (Falcão et al., 2004).

▪ Operação e Manutenção:

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Presença do dispositivo	Impactes visuais	Depende do tipo de dispositivo, sendo particularmente relevantes nos costeiros
	Efeitos positivos e negativos nos recursos pesqueiros (dispositivos afastados da costa)	Positivos (criação de zonas de exclusão e de recifes artificiais); para os negativos a solução passa por evitar zonas de pesca comercial e de recreio
	Influência do ruído nos mamíferos marinhos	Adaptar o projecto do dispositivo para a possibilidade de este atrair algumas espécies (por ex.: distância entre dispositivos)
	Impactes na navegação (dispositivos não costeiros)	Evitar a colocação em zonas de grande tráfego marítimo; sinalização dos dispositivos (luzes, radar, ...)
	Alterações no regime de ondas (podendo influenciar o processo de erosão costeira, alterar habitats marinhos e alterar o valor turístico de uma zona)	Depende fortemente do tipo de dispositivo, podendo ter impactes benéficos ou nefastos ¹⁶

Tabela 12 – Impactos ambientais devidos à operação e manutenção de parques de energia das ondas, (Falcão et al., 2004).

▪ **Operação e Manutenção (continuação):**

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Presença dos cabos submarinos	Geração de um campo electromagnético	Os cabos submarinos serão enterrados no fundo mar, pelo que este impacte é mínimo
Operação do sistema de conversão de energia	Impactes que dependem fortemente do sistema em causa	O maior impacte será provavelmente o ruído, que varia com o tipo de sistema e deverá ser mais intenso quando se utilizam turbinas de ar e sistemas com velocidades significativas entre partes móveis
Presença do sistema de amarração (dispositivos não costeiros)	A presença dos blocos de amarração (âncoras) afecta o meio envolvente	Devem-se evitar certas áreas identificadas como zonas importantes para pesca, etc.
	A presença das correntes de amarração pode afectar os habitats naturais do fundo (caso de arrastem)	Projectar as correntes de modo a que não permanecem no fundo
	O sistema de amarração (blocos + correntes) pode constituir um recife artificial, fomentando o aparecimento e o crescimento de espécies marinhas	Impacte benéfico (não necessita de medidas de minimização)
Presença das instalações costeiras	As instalações costeiras (apoio, subestações, ...) têm necessariamente um impacte visual	Escolha adequada do local de implementação e procura de soluções arquitectónicas adequadas
Manutenção	A regularidade na manutenção pode ter associada, por exemplo no caso dos dispositivos não costeiros, o aumento do tráfego marítimo	Devem ser respeitadas as medidas preventivas já mencionadas (evitar períodos de migrações dos animais, etc.); não se espera que o tráfego seja muito diferente do associado à pesca.
Mecanismos anti-corrosão	Possíveis emissões tóxicas para o meio envolvente	A indústria naval apresenta soluções não tóxicas (revestimento à base de silicone, por exemplo)

Tabela 13 – Impactos ambientais devidos à construção e instalação (continuação da Tabela 12) de parques de energia das ondas, (Falcão et al., 2004).

▪ **Desmantelamento:**

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Desmantelamento e remoção do dispositivo do local	Os impactes imediatos são predominantes nos dispositivos costeiros, embora possam ser relevantes nos dispositivos <i>offshore</i> (eventual remoção do recife artificial criado)	O projecto do dispositivo deve ter em atenção a utilização de materiais recicláveis sempre que possível
Remoção do sistema de amarração (quando aplicável)	Influência no meio envolvente (alteração do habitat de algumas espécies)	Utilização de técnicas de minimização disponíveis na indústria <i>offshore</i>
Remoção dos cabos submarinos		

Tabela 14 - Impactos ambientais devidos ao desmantelamento de parques de energia das ondas, (Falcão et al., 2004).